

Olli Taipale

Kysyntäjouston mahdollisuudet energiamittareiden ja muiden tietolähteiden avulla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinööri (Ylempi AMK)

Opinnäytetyö

25.10.2017

<p>Tekijä Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p>	<p>Olli Taipale Kysyntäjouaston mahdollisuudet energiamittareiden ja muiden tietolähteiden avulla</p> <p>58 sivua 25.10.2017</p>
Tutkinto	Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Koulutusohjelma	Insinööri (Ylempi AMK)
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaajat	Kehityspäällikkö Jonne Jäppinen, Fingrid Oyj Lehtori Sampsa Kupari, Metropolia
<p>Ilmastonmuutoksen torjunta on noussut maailmanlaajuisesti ilmiöksi viime vuosina. Ilmiön torjuntaan on lähdetty mukaan niin Euroopassa kuin muualla maailmassa. Muutoksen keulassa on sähkön tuotantorakenteen muutos. Uusiutuvilla energialähteillä tuotettu energia syrjäyttää perinteiset tuotantomuodot. Uusiutuvat energialähteet eivät ole nykyisellään teknistaloudellisesti säästökykyisiä, joten sähköjärjestelmän tehotasapainon hallinta vaikeutuu. Tämä nostaa loppuasiakkaita sähköverkkoliiketoiminnan keskiöön tasapainottamaan osaltaan tulevaisuudessa sähköjärjestelmän tehotasapainoa.</p> <p>Opinnäytetyö tutkii tapaustutkimuksena sähköjärjestelmän tehotasapainon hallintaa edesauttavia kysyntäjouaston pilottiprojekteja, jotka on suunnattu sähköjärjestelmän loppuasiakkaille. Tutkimuksen tarkoituksena oli löytää kansantaloudellisesti kustannusoptimoitu liiketoimintamalli, josta hyötyisivät niin loppuasiakkaat kuin kantaverkkoyhtiökin. Opinnäytetyö esittelee tuloksena tulevaisuuden vision toisen sukupolven energiamittarin roolista tulevaisuuden sähköverkkoliiketoimintamallissa, jonka keskiössä on kysyntäjouaston hyödyntäminen.</p> <p>Murroksessa oleva sähköala aiheuttaa muutoksia liiketoimintaympäristöön. Työ- ja elinkeinoministeriö on muodostanut älyverkkotyöryhmän, jonka tehtävänä on miettiä konkreettisia toimia tulevaisuuden haasteisiin. Opinnäytetyö auttaa älyverkkotyöryhmää toiminnassaan. Sään mukaan vaihteleva sähköntuotanto, kysyntäjouaston hyödyntäminen, ja muuttuvat sähkömarkkinat ovat otteita työstä, joihin älyverkkotyöryhmän tulee ottaa kantaa edistääkseen muutosta kohti älyverkkoja.</p> <p>Työn tuloksena saatiin koostettua teoreettinen liiketoimintamalli kysyntäjouastoon. Liiketoimintamallissa otettiin esille useita vertailukriteereitä, joiden mukaan lopputulos muokkautui lopulliseen muotoonsa. Vertailussa oli mukana niin teknisiä kuin taloudellisia kriteerejä. Mallin hyödynnettävyys absoluuttisesti ei ole itsestään selvää tulevaisuudessa. Sähköverkkoliiketoiminnassa eri osapuolet toimivat luonnollisesti eri intressien mukaisesti, ja näin ollen näkemykset myös eroavat tulevaisuuden kysyntäjouaston liiketoimintamallin yksityiskohdista. Liiketoiminnan osapuolten roolien jaottelu ja näihin kuuluvat vastuut ovat vielä pohdinnan alla, joten kysyntäjouaston toteutuksen vastuut velvoitteet voivat poiketa työn tuloksista. Ala on murroksessa ja jollain aikavälillä liiketoiminta tulee joka tapauksessa muuttumaan.</p>	
Avainsanat	kysyntäjousto, energiamittaus, sähköverkkoliiketoiminta

Author Title	Olli Taipale The usage of energy meters and other sources of information for demand response
Number of Pages Date	58 pages 25 October 2017
Degree	Masters of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Specialisation option	
Instructors	Jonne Jäppinen, Development Manager, Fingrid Oyj Sampsa Kupari, Lecturer, Metropolia
<p>Climate change has become a global phenomenon during the recent years. Climate change has been noticed all around the world and measures to stop it have been made. One of the most important things to reduce carbon dioxide emissions are changes in the production structure of electricity. Renewable energy sources have already replaced and will replace traditional carbon-based energy production. New type of renewable energy based production is not adjustable in power production. The balance between power consumption and power production is getting more unstable and actions to make it stable again need to be executed. Changes in the business environment bring more responsibility to end users to support power system by their own actions.</p> <p>The thesis focused on case-studies of demand response in the pilot projects of end users. At the moment there are only very few pilot projects ongoing. The thesis also focused to explore energy metering for the future demand response based business model. Based on these samples and other studies the theses will introduce a common business model for demand response. The objective of this study was to bring benefit to end users, to main grid company and to other main grid company customers.</p> <p>Changes in the network business force electricity sector to adapt. Ministry of economic affairs and employment have formed a group named intelligent network team. The intelligent network team is formed to find concrete actions how to promote the future of the intelligent networks. The thesis is done to help the intelligent network team.</p> <p>The main result of the thesis is the theoretical business model of demand response. The business model is based on several different factors. About half of the model is based on the case study samples and the other half is based on economical and technical factors. Future of this business model is unclear yet. Different viewpoints from different stakeholders of the distribution network business have dissenting opinions how to form a good business model to promote demand response. In any case the network distribution business is getting reshaped and the future will tell when and how it happens.</p>	
Keywords	Demand response, energy metering, distribution network business

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Tutkimuksen taustaksi	1
1.2	Tutkimuksen kohdeorganisaatio	3
1.3	Tutkimuksen kysymykset, rajaukset ja rakenne	4
1.4	Tutkimusmenetelmä	6
2	Teoreettinen viitekehys	7
2.1	Velvoitteet sähköenergian mittaamisesta ja kysyntäjoustosta	7
2.1.1	Euroopan Unionin linjaukset	7
2.1.2	Sähkömarkkinalaki	9
2.1.3	Mittausasetus	11
2.1.4	Sähköenergian mittaamisen standardit	13
2.2	Sähköverkkoliiketoiminta	14
2.2.1	Tehotasapainon hallinta sähköverkossa	14
2.2.2	Sähköverkkoliiketoiminnan valvontamalli	16
2.3	Sähköverkkoliiketoiminnan markkinapaikat	19
2.3.1	Sähkömarkkinat	19
2.3.2	Reservimarkkinat	20
2.4	Kysyntäjousto	22
2.4.1	Yleistä	22
2.4.2	Kehitys Euroopassa	25
3	Kysyntäjouaston liiketoimintamallit Suomessa	28
3.1	Taustaksi	28
3.2	Sähköenergian mittaamisen liiketoimintamalli Suomessa	28
3.2.1	Ensimmäisen sukupolven AMR 1.0	30
3.2.2	Toisen sukupolven AMR 2.0	32
3.3	Kysyntäjoustoprojektit loppuasiakkaille Suomessa	35
3.3.1	Elenia ratkaisu Suomessa	35
3.3.2	Fortum Spring	38
3.4	Energiamittareiden ja muiden tietolähteiden hyödyntäminen	39
3.4.1	Energiamittari keskiössä	44
3.4.2	Ulkopuolinen tietolähde keskiössä	45
3.4.3	Keskittämällä kysyntäjouaston edistämiseen	46
4	Työn tulokset	48

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen taustaksi

Älykkäät sähköverkot, sään mukaan muuttuva sähköntuotanto, uusiutuvat energialähteet, akut ja sähköautot, kaikki nämä ovat perinteistä sähköverkkoliiketoimintaa murrokseen ajavia ilmiöitä. Työ- ja elinkeinoministeriö on perustanut älyverkkotyöryhmän miettimään näitä sähköverkkoliiketoimintaan vaikuttavia ilmiöitä. Älyverkkoryhmän tehtävänä on tehdä konkreettisia ehdotuksia, mihin suuntaan alalla tulisi edetä. Uudet puhtaammat innovaatiot parantavat elämänlaatuamme niin ilmanlaadullisesti kuin kansantaloudellisesti. Kehitys menee eteenpäin ja työpaikkoja syntyy uusien innovaatioiden myötä. Kaikki nämä positiivisesti loppukäyttäjälle näkyvät muutokset eivät tule itsestään suoraan käytäntöön vaan muutokset vakiintuneessa toimintaympäristössä luovat uusia toimintamalleja. Toimintamallit tuovat uutta liiketoimintaa, mutta samalla ne karsivat vanhentuneita malleja pois alalta. Sään mukaan muuttuva sähköntuotanto, kuten aurinko- ja tuulivoimalat, ovat alttiita ilmastolliselle vaihtelulle. NykYTEknologia mahdollistaa aurinko- ja tuulivoimaloiden sähköntuotannon säätökyvyn, mutta säädettävät uusiutuvien energialähteiden tuotantolaitokset eivät ole taloudellisesti kannattavia toteuttaa. Näin ol- len toteutettujen aurinko- ja tuulivoimalaitosten sähköntuotanto on alttiina ilmastollisille vaihteluille, mikä taas puolestaan lisää sähköjärjestelmän tehotasapainon epätasapainoa. Tehotasapainon epätasapainoa lisäävät osaltaan sähköautojen akustot, joskin latauskäyttäytymistä on huomattavasti helpompi ennustaa kuin ilmastollista vaihtelua. Ilmiöiden ennustettavuus on hyvin tärkeä osa tehotasapainon hallintaa. Fingrid Oyj:n perustehtävä on tehotasapainonhallinta Suomen kantaverkon alueella. Fingrid Oyj pyrkii toiminnallaan parantamaan sähköverkon käytettävyyttä ja tekee koko ajan kehitystyötä laadukkaamman ja kustannustehokkaamman verkonhallinnan kehittämiseksi. Yhdeksi tulevaisuuden työkaluksi sähköverkon tehotasapainon hallinnassa on nähty olevan kysyntäjousto, joka vie osaltaan loppuasiakkaita kohti asiakaskeskeisempää sähköverkkoliiketoimintaa. Kysyntäjousto on poliittisesti kiinnostava aihe niin kansallisesti kuin Euroopan laajuudella. Uuden tehonhallinnan työkalun tuominen sähkömarkkinoille tuo haasteita mutta toimiessaan myös merkittäviä kansantaloudellisia hyötyjä.

Kysyntäjousto on sähköenergian käyttöajankohdan siirtämistä sähköjärjestelmän kanalta parempaan ajankohtaan. Kysyntäjousto ei ole mikään uusi ilmiö sähköverkkoliiketoiminnassa, vaan suurteollisuus on jo kauan auttanut sähköverkon tehotasapainon yl-

lapidossa. Samalla suurteollisuus on kasvattanut kustannustehokkuuttaan energiahallinnassaan. Mitä suuret yksiköt tekevät edellä, sitä loppukäyttäjät seuraavat perässä. Uutena elementtinä on se, että loppukäyttäjät otetaan toiminnan keskiöön ja mukaan tehotasapainonhallintaan kysyntäjouaston avulla. [1.]

Kysyntäjousto on tällä hetkellä mediassa kovin pinnalla ja sen edistämiseksi tuntuu olevan intressejä. Eduskunta on ottanut asian esille useasti energia- ja ilmastostrategia mietinnöissään. Teknistaloudellisen toteutuksen osuessa kohdilleen kysyntäjoudesta tulee tulevaisuudessa huomattava työkalu sähköverkon tehotasapainonhallinnassa.

Sähkömarkkinalain 22§ määrittelee verkonhaltijan mittauspalvelun tehtäväksi pyrkiä edistämään sähköjärjestelmän käyttäjien tehokasta ja säästäväistä sähkönkäyttöä sekä edistämään sähkönkäytön ohjausmahdollisuuksien hyödyntämistä. Tämä vaatimus koskettaa myös Fingrid Oyj:n tehtäviä, sillä Fingrid Oyj toimii kantaverkossa verkonhaltijana. Tämän lisäksi kansantaloudellisen kustannustehokkuuden lisääminen tehotasapainon hallinnassa kuuluu Fingrid Oyj:n päätehtäviin. Tehokas kysyntäjousto hyödyntäminen edesauttaa kantaverkon tehotasapainon hallintaa, joka voi taas näkyä loppuasiakkaiden sähkölaskussa tulevaisuudessa positiivisesti. [2.]

Kysyntäjousto hyödyntämisen tulee tuottaa taloudellista hyötyä joustopotentialiaa tarjoaville. Asia ei ole kovin yksinkertainen, sillä karkeasti määriteltynä sähköenergian hinta jakautuu lähes kolmeen yhtä suureen osaan: veroihin, siirtoon ja sähköenergian hintaan. Taloudellista hyötyä joustosta voi saada teoriassa vain sähköenergian hinnasta. Sähköenergian kustannus on vain 1/3 osa koko sähkölaskusta, joten teoreettinen maksimaalinen hyöty joustosta voi olla vain enintään 1/3 sähkölaskun loppusummasta. Joustopotentialin arvoa määrittelee kuitenkin pitkälti se, mille sähkömarkkinoiden markkinapaikalle jousto pystyy osallistumaan. Kaikille markkinapaikoille on määriteltä erilaiset tekniset vaatimukset. Yleisesti mitä nopeammin reagoiva jousto ja sitä ohjaava tekniikka, sitä parempaa tuottoa joustolle voidaan saada.

Työ- ja elinkeinoministeriö asetti vuonna 2016 työryhmän selvittämään sähkömarkkinoiden tulevaisuuden muutoksia. Työryhmä käy läpi muutokseen ajavia trendejä ja ilmiöitä, jotka tarvitsevat tuekseen linjauksia ja suuntaa tulevaisuudessa. Näistä ilmiöistä käsittelem työssäni toisen sukupolven energiamittareiden kehitystä ja kysyntäjousto edistymistä. Työryhmän lopullinen mietintö julkaistaan 30.9.2018 mennessä.

Kysyntäjouaston hankkeet eivät ole vielä tulleet isolla mittakaavalla sähkömarkkinoille. Muun muassa sähkömarkkinoiden tekniset vaatimukset nähdään nykyään yleisesti liian vaikeiksi teknisesti toteuttaa sekä saatava taloudellinen hyöty jää liian vähäiseksi. Tilannetta voivat kuitenkin muuttaa oleellisesti aggregaattorit eli yritykset, jotka pyrkivät muodostamaan pienistä lähteistä muodostuvia tehokokonaisuuksia, joita ohjaillaan samanaikaisesti. Kantaverkon näkökulmasta ei ole merkitystä, missä joustopotentiaali verkossa tarkasti sijaitsee, kunhan se on kantaverkon alueella eli Suomessa ja toimii teknisten vaatimusten mukaisesti.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia sähköverkkoliiketoiminnan ympäristön muutosta kysyntäjouaston osalta. Sähköntuotantorakenteen murros ja tuotantomuodoiltaan uusiutuvat sään mukaan vaihtelevat energiamuodot muokkaavat sähköverkkotoimintaa uusiin uriin. Sään mukaan vaihtelevan sähköntuotannon osuus kasvaa päivä päivältä. Muutos johtaa joustavan sähköntuotannon ja -kulutuksen merkityksen korostumiseen ja arvon nousuun.

Työ selvittää sähköverkkoliiketoimintaan vaikuttavia muutosilmiöitä ja sähköjärjestelmätoiminnan toimintaperiaatteita. Näiden periaatteiden pohjalta työ tarkastelee tapaustutkimuksena käynnissä olevia kysyntäjouaston loppukäyttäjille suunnattuja projekteja. Projekteista ja nykyaikaisista trendeistä valmistelen liiketoimintavaihtoehtoja, miltä tulevaisuudessa kysyntäjouaston liiketoimintamalli voi näyttää. Vaihtoehtojen tarkastelun lopputuloksena työ käy läpi, kuinka hyvin sähköenergiamittari soveltuu kysyntäjouaston tarpeisiin hyödynnettävyytensä kannalta vai tuleeko tulevaisuuden sähköjärjestelmän joustosovelluksien ratkaisut toteuttaa muilla keinoilla.

1.2 Tutkimuksen kohdeorganisaatio

Fingrid Oyj on Suomen kantaverkkoyhtiö. Fingrid Oyj sai alkunsa vuonna 1996, jolloin Imatran Voima Oy, Pohjolan Voima Oy ja Suomen valtio sopivat kantaverkkotoiminnan keskittämisestä. Tuohon aikaan kantaverkon yhdistyminen oli Suomen historian suurin liiketoimintakauppa. [3.]

Kantaverkkoyhtiöiden tai ylipäänsä sähkön jakeluverkkoyhtiöiden rinnakkainen verkko-rakentaminen on liian kallista ja kansantaloudellisesti epäedullista, joten näistä syistä

maassamme saa olla vain yksi alueellinen verkkoyhtiö. Fingrid Oyj on Suomen kanta-verkkoyhtiö ja myös alansa ainoa toimija. Samat säännöt koskevat jakeluverkkoyhtiöitä eri puolilla Suomea. Jakeluverkon alueella voi toimia vain yksi sähkönsiirtoyhtiö. [2.]

Kantaverkkoyhtiön tehtävien rajaukset on määritelty sähkömarkkinalain viidennessä luvussa. Tuossa luvussa käsitellään jääviyskysymyksiä, sähkönsiirtovarmuutta laadullisesta näkökulmasta sekä kantaverkkoyhtiön kehittämisestä. Näillä rajauksilla Fingrid Oyj toimii Suomen ainoana kantaverkkoyhtiönä. Fingrid Oyj kehittää toimintaansa koko ajan eikä tyydy lain vähimmäisvaatimuksiin. Fingrid Oyj:n strategiatyön pohjalta saadaan yhtiön strategia. Strategiassa on suuntaviivat, miten Fingrid Oyj:n päätehtävät toteutetaan parhaiten. Vuoden 2016 vuosikertomuksesta löytyy Fingrid Oyj:n päätehtävät, jotka ovat: siirtokapasiteetin varmistaminen, käyttövarmuuden hallinta ja sähkömarkkinoiden kehittäminen. Strategien näkökulmasta opinnäytetyöni keskittyy sähkömarkkinoiden kehittämisen ja käyttövarmuuden hallintaan. Tehotasapainoon liittyvissä kysymyksissä työni käsittelee myös siirtokapasiteetin varmistamista. Sähkömarkkinoiden kehittämisessä isoa roolia näyttelevät nopeasti kehittyvät sähkömarkkinoiden tiedonvaihto. Toimintaa tehdään kansallinen etu ensimmäisenä henkilöstö huomioiden. Opinnäytetyöni aihe keskittyy näistä päätehtävistä osaltaan jokaiseen päätehtävään. [2; 4.]

Työskentelen Fingrid Oyj:n Markkinat-toiminnossa. Markkinoiden osalta kuulun Energiaselvitys-yksikköön. Yksikköni tehtävänä on hallinnoida kantaverkkolaskutusta aina energiamittarilta asiakkaille lähetettävien laskuihin. Työni ohjaaja Jonne Jäppinen tulee voimajärjestelmän käyttö -toiminnosta. Opinnäytetyöni ohjausryhmän jäsenistö koostuu lähes jokaisesta yhtiön toiminnosta. Työni on poikkiorganisatorinen katsaus sähköverkon tulevaisuuden ilmiöihin keskittyen kuitenkin työni aiheen tutkimiseen.

1.3 Tutkimuksen kysymykset, rajaukset ja rakenne

Fingrid Oyj:n tavoitteena on pitää valot päällä valtakunnassa. Tätä kiteytettyä tehtävää haastaa muuttuva toimintaympäristö sähköverkko liiketoiminnassa. Uudet joustamattomat, mutta kustannustehokkaat sähköntuotantomuodot sähköverkossa haastavat teho-
tasapainonhallintaa. Muutokset toimintaympäristössä tuovat uusia keinoja teho-
tasapainon hallitsemiseen. Kysyntäjousto on yksi näistä keinoista. Opinnäytetyös-
säni uppoudun kysyntäjousto-
on liittyviin ajankohtaisiin kysymyksiin. Tutkimuskysymyk-
siä mietittäessä tuli muutama kysymys mieleen, jotka liittyvät tulevaisuuden kysyntäjous-
ton hyödyntämiseen ja samalla sivuaa omia työtehtäviäni Fingrid Oyj:n palveluksessa:

Tutkimuskysymykset:

- Onko jakeluverkonhaltijan laskutukseen käytettävä sähköenergiamittari oikea laite loppuasiakkaiden kysyntäjoustop ohjaamiselle?
- Millainen on tulevaisuuden liiketoimintamalli kysyntäjoustopossa energiamittarin osalta?
- Millaisena nähdään tulevaisuuden kysyntäjoustop liiketoimintamallit; mitkä seikat puoltavat ja mitkä jarruttavat?

Kysyntäjoustop on aiheena hyvin ajankohtainen ja materiaalia ei ole vaikeaa löytää. Dokumentteja, tutkimuksia, lopputöitä yms. aiheesta löytyy koko ajan lisää ja päällimmäisenä ongelmana tutkimuksessani on aiheen rajaous sekä luotettavien lähteiden harvointi.

Työni rajoittuu siten, että keskityn lainsäädännön ja muiden viranomaisvelvoitteiden osalta energiamittaukseen ja kysyntäjoustopon. Työni käy läpi tärkeimmät sähköjärjestelmäliiketoiminnan osa-alueet, jotka osuvat työni rajauksiin, kuten sähkö- ja reservimarkkinoista, sähköjärjestelmäliiketoiminnan insentiiveistä ja kysyntäjoustopon kehityksestä Euroopan alueella.

Työni rajaukset on tehty siten, että työni jättää käsittelemättä seuraavat kokonaisuudet:

- Ensimmäisen ja toisen sukupolven sähköenergiamittareiden ominaisuuksien hyödyntäminen kysyntäjoustopossa, sillä tästä aiheesta on valmisteilla muitakin tutkimuksia, kuten DI-työ Pöyryn teettämänä.
- Reaaliaikaisuuden määrittäminen kysyntäjoustopon tarpeisiin

Rakenteellisesti työni esittelee aiheen, ongelman ja tutkimuskysymykset. Tästä eteenpäin työni käsittelee lainsäädännön velvoittavia määräyksistä aina sähköverkkoliiketoiminnan pelisääntöihin ja liikkeelle laittaviin voimiin. Tämän jälkeen työni käsittelee kysyntäjoustopon liiketoimintamalleja jo toteutettujen projektien osalta ja teoreettisten mallien esittelyillä. Työni tutkii erilaisia kysyntäjoustopon liiketoimintamalleja ja pyrkii summaamaan johtopäätökset, mitä etuja ja haittoja eri liiketoimintavaihtoehtoisissa on.

1.4 Tutkimusmenetelmä

Tutkimusmenetelmänä työni käyttää tapaustutkimusta (Case-tutkimus). Tutkimuksessa hyödynnetään julkisesti esillä olevia kysyntäjousto hankkeita. Näiden hankkeiden pohjalta työni tutkii, mitä hyötyä ja haittaa on hyödyntää energiamittareita kysyntäjoustopuolella. Tämän lisäksi työni vertailee energiamittareiden hyödyntämistä ulkopuolisen laitteiston tukena. Tutkittavia osa-alueita on useita ja näiden perusteella teen pelkistetyn liiketoimintamallin kysyntäjoustopuolelle. [5.]

Tutkimustapauksia on meneillään äärellinen määrä ja näistäkin tapauksista julkista materiaalia on tarjolla vielä rajatumpi määrä. Työni käsittelee uskottavan joukon jo toteutettuja kysyntäjoustopuolella pilotti-projekteja, joiden pohjalta ja omien näkemyksieni pohjalta lopputuloksena muodostuu pelkistetty toimintamalli kysyntäjoustopuolelle tulevaisuuteen. Työni tutkimuksessa vertailtavia tekijöitä ovat:

- Ohjauspotentiaali
- Tietoturva
- Lain määräykset
- Mittaustietojen luotettavuus
- Joustopotentiaalin hyödynnettävyyden määrä
- Markkinaehtoisen innovoinnin potentiaali
- Valvontamallin vaikutus

Työni tutkimuksen onnistumista mitataan opinnäytetyön hyödynnettävyydellä. Työni pyrkii luomaan uusia näkemyksiä tulevaisuuden kysyntäjoustopuolelle liiketoimintamalleihin. Liiketoimintamallien variaatioita on useita, mutta tavoitteena on löytää lähtökohdistani hyödyllisin malli kantaverkkoyhtiön, kantaverkon asiakkaiden, palveluntoimittajien ja yhteiskuntamme kannalta. Tutkimuksen onnistumista päästään mittaamaan vasta, kun tiedetään mihin liiketoimintamalliin alalla vakiinnutetaan. [5.]

2 Teoreettinen viitekehys

2.1 Velvoitteet sähköenergian mittaamisesta ja kysyntäjoustosta

2.1.1 Euroopan Unionin linjaukset

Kysyntäjousto ja muut energiansäästöön sekä -tehokkuuteen liittyvät ratkaisut ovat nousseet pinnalle ilmastonmuutoksen ehkäisy- ja jarrutustoimenpiteiden mukana. Ilmastokeskustelua on käyty viime vuosina Suomen lisäksi niin koko EU:n alueella kuin maailmanlaajuisestikin. Ensimmäisen sukupolven älymittareiden vaihtojen myötä mielenkiinto on siirtynyt energiamittareiden hyödynnettävyyteen ja niiden mittaussovelluksiin. Yksi näistä uusista sovelluksista on kysyntäjousto. EU:n asiakirjoista löytyy tuoreita otteita kysyntäjoustopotentialiaa jo olemassa oleville sähkömarkkinoille. Keinoina muutoksen edistämiseen nähdään markkinasääntöjen muokkaamista ja lähempänä käyttöajankohtaa käytävien markkinoiden mahdollistamista. Näillä keinoilla saadaan joustoista tuotannon, kysynnän ja varastoinnin osilta kannattavia. Vaatimus kysyntäjoustopotentialin mahdollistamisesta on annettu direktiivissä jo vuonna 2009. Teknisten edellytysten täytyessä sähkön kysyntäjousto tulee yleistymään Suomessa ja muualla Euroopassa. Näiden lisäksi EU:n mittalaitedirektiivi vetää rajoitukset yhdenmuotoisille mittalaitteille Euroopan alueella.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi sähkön sisämarkkinoita koskevista yhteisistä säännöistä (2009/72/EY) (sähkömarkkinadirektiivi) pitää sisällään suuntaviivat tulevaisuuden sähkömarkkinoilla toimimiselle. Sähkömarkkinadirektiivi ottaa kantaa siirtoverkonhaltijoiden tehtäviin, direktiivin 12. artiklan kohdassa d. Tuossa maininnassa verkonhaltijat veloitetaan mahdollistamaan kysyntäjoustopotentialin edellyttämät palvelut. Sähkömarkkinadirektiivi tuli voimaan vuonna 2009. Direktiivin siirtymäaika loppui 3.3.2011, joten tällä hetkellä teknisen mahdollistamisen puitteissa sähkönsiirtoyhtiöiden tulisi tarjota loppuasiakkaalle kysyntäjoustopalveluita. Tämä ei vielä nykyäänkään toteudu täysmääräisesti, koska selkeä roolitus alalla puuttuu vieläkin. [6, s. 16.]

Vuonna 2016 Euroopan Unioni julkaisi puhtaan energian paketinsä (Clean energy for all Europeans) (jäljempänä puhtaan energian paketti). Puhtaan energian paketin tarkoituksena on vauhdittaa Pariisin ilmastopöytäkirjan täytäntöönpanoa. Näillä toimilla EU on ottanut roolia vauhdittaakseen kulkua kohti älykkäitä sähköverkkoja ja hiilineutraalimpaa uusiutuvilla energiamuodoilla tuotettua sähköntuotantoa. [7, s. 4; 6.]

Euroopan komission tiedonannossa puhtaan energian paketissa puhutaan sähkömarkkinoiden kehittymistarpeesta ja joustavuuden huomioon ottamisesta. Kappaleessa kolme - "Maailmanlaajuinen johtoasema uusiutuvan energian alalla" mainitaan, että sähkön tukkumarkkinoiden tulee kehittyä. Tukumarkkinoiden on muodostettava pelisäännöt, jotka tähtäävät kaupankäynnin kehittymistä lyhemmille aikaväleille aina lähemmäs toimitushetkeä. Kantavana ajatuksena tässä puhtaan energian paketin kappaleessa on mahdollistaa entistä paremmin uusiutuvan energian tarpeet tulevaisuudessa. Tämä tulevaisuuden muutostarve tuo tullessaan joustavuutta sähkömarkkinoille kysynnän, tuotannon ja varastoinninkin osalta. Sanomana tässä on lähteä muuttamaan sähkömarkkinoita ja sähkömarkkinoiden pelisääntöjä. Pelisääntöjen muutoksen myötä sähkömarkkinat voivat reagoida paremmin muutostilanteisiin ja mahdollistaa sähköntuottajien paremmat valmiudet osallistua sähkömarkkinoiden eri markkinasegmenteille. [6, s. 8–9.]

Puhtaan energian paketin kappaleessa neljä - "kohtuulliset sopimusehdot kuluttajille" otetaan kantaa loppukäyttäjän siirtämistä sähköverkkoliiketoiminnan keskiöön. Loppukuluttajalle tullaan jatkossa tarjoamaan lisääntyvä määrä mahdollisuuksia hallita omaa energiapalettiaan. Loppukuluttajalle pyritään jatkossa mahdollistamaan sähkön tuotanto, varastointi, myynti ja kulutus- sekä tuotantojousto. Tulevaisuudessa loppukuluttajalle tullaan tarjoamaan edistyksellisempiä sähkön kulutuksen ja tuotannon seurantapalveluita, hintasignaaleihin reagoivia joustosovelluksia ja energiayhteisöjen kautta saatavia synergiaetuja. Digitalisaatio, loppukuluttaja keskiöön ja muuttuvat sähkömarkkinat tulevat mahdollistamaan nämä kaikki palvelut. [6, s. 11.]

Energiatehokkuusdirektiivi ottaa niin ikään kantaa kysyntäjoustop hyödyntämiseen. Direktiivin 15. artiklan kohdassa neljä otetaan kantaa siirto- ja jakelutariffien kannustimiin. Tällaiset kannustimet voivat haitata kysyntäjoustop markkinoiden tasapainottamisessa ja näin ollen ne jarruttavat haluttua kehitystä. Tässä samassa kohdassa viitataan sähkömarkkinadirektiiviin, joka aiemmin velvoitti siirtoverkkoyhtiöt mahdollistamaan kysyntäjoustop. Energiatehokkuusdirektiivi pyrkii edistämään jo aiemmin sähkömarkkinadirektiivissä esitettyä kehitystä kysyntäjoustop edistämiseksi. [8, s. 22.]

Energiatehokkuusdirektiivin 15. artiklan kohdassa kahdeksan veloitetaan säätelyviranomaiset edesauttamaan haluttua kehitystä. Säätelyviranomaisen tulee edesauttaa sähkömarkkinoiden muutostarpeiden muutoksessa ja rohkaista osallistumaan kysyntäjoustop

toon. Kahdeksannessa kohdassa velvoitetaan myös siirto- ja jakeluverkonhaltijat edesauttamaan kysyntäjoustopalveluiden muodostumista. Joustopalveluiden myötä sähkömarkkinoille voi tulla uusia osapuolia, joita tulee kohdella yhtä syrjimättömästi kuin muitakin sähkökaupan osapuolia. Näitä kaikkia tarpeita tulee tarkastella myös jäsenvaltioiden päättäjien tasolta, joiden on seurattava, että säätelyviranomaiset sekä jakelu- ja siirtoverkonhaltijat pyrkivät edesauttamaan kysyntäjoustopalveluiden kehittymistä. [8, s. 23.]

Suomessa ollaan edelläkävijöitä sähköenergian mittauksessa. Suomen nykyisten sähköenergiamittareiden ominaisuuksien suuntaviivat ovat peräisin Euroopan Parlamentin ja Neuvoston direktiivistä 2004/22/EY (jäljempänä MID). Tämä direktiivi määritteli suuntaviivat, joiden mukaan EU:n jäsenvaltiot valmistelivat kansallisen lainsäädännön jokaiseen jäsenmaahan erikseen. MID (2004/22/EY) soveltaminen alkoi 30.10.2016 ja siirtymäajaksi määriteltiin 10 vuotta. Mittalaitedirektiiviä päivitettiin vuonna 2014 ja näin ollen uusin versio direktiivistä on 2014/32/EU. Siirtymäaika on nyt ummessa ja vain MID:n mukaisia mittalaitteita saa tuoda EU:n alueelle. Mittalaitedirektiivi ottaa kantaa laajalti mittalaitteisiin ja vain pieni osa siitä koskee juuri sähköenergiamittareita. [9; 10.]

Sähköenergiamittareiden vaatimuksina MID määrittelee sähköenergiamittareille tarkkuusluokat, joissa energiamittareiden tulee pysyä. Sähköenergiamittauksen vaatimukset löytyvät MID (2014/32/EU) liitteestä V. Tarkkuusluokat ovat luokka A, B ja C. Direktiivi ottaa kantaa oleellisiin suureisiin sähköenergian mittauksessa ja määrittelee raja-arvot, joiden välillä mittarin tulee toimia normaalisti. Tämän direktiivin pohjalta on säädetty kansallisia lakeja ja standardeja, joissa täytyy löytyä vähintään tämän direktiivin mukaiset vaatimukset. Kansallinen säädäntä MID:n perustuen löytyy valtioneuvoston asetuksesta (21.12.2016/1432). [11,s. 61–64; 12.]

2.1.2 Sähkömarkkinalaki

Sähköverkkotoimintaa harjoittavia yhtiötä Suomessa valvoo Työ- ja elinkeinoministeriön alaisuudessa toimiva Energiavirasto (jäljempänä EV). Energiavirasto valvoo sähköverkkotoiminnan harjoittamista Suomessa niin sähkömarkkinoilla kuin sähköverkkotoiminnassa. EV:n tehtävä on valvoa, että kaikki sähköverkkotoiminnan osapuolet noudattavat Suomen vallitsevaa lainsäädäntöä. Tarkemmin viraston vastuut on määritelty laissa sähkö- ja maakaasumarkkinoiden valvonnasta (590/2013). [13.]

Sähkömarkkinalaki (588/2013) on se osa lainsäädäntöä, joka antaa suuntaviivat yleisesti sähköverkkoliiketoiminnan harjoittamiselle. Lakia sovelletaan kaikkeen sähköverkkotoimintaan mm. sähkömarkkinoihin, sähkön tuotantoon, tuontiin, vientiin, jakeluun ja siirtoon. Sähköverkkoliiketoiminta on lailla tarkasti säädeltyä toimintaa, sillä moni taho tällä liikekentällä toimii monopoliasemassa. [2.]

Sähkömarkkinalaissa sähkön mittaaminen luetaan sähköverkkotoiminnan piiriin. Se on yksi osa-alue sähköverkkotoiminnassa. Tarkemmin sähkön mittaamisessa laki ottaa kantaa verkkoluvallisen verkonhaltijan mittausvelvoitteista. Verkkoluvallinen verkonhaltija voi halutessaan järjestää mittauspalvelut itse tai ostaa niiden järjestämisen palveluna. Mittauspalvelusta ja näin ollen myös sähköverkkotoiminnasta tulevat kustannukset katsotaan kuuluvan verkkotoiminnan kustannuksiin energiaviraston valvontamallissa (jäljempänä regulaatiomalli). Näin ollen regulaatiomalli kannustaa järjestämään mittauspalvelut itsenäisesti. Sähköverkkoliiketoiminnasta saatavaa taloudellista kohtuullista tuottoastetta valvoo EV. EV valvoo kaikkia sähköverkkoliiketoiminnan osapuolia asettamansa regulaatiomallin mukaisesti, joka on nykyisin lukittu vuoteen 2023 asti. Regulaatiomallista löytyy yleisesittely myöhempänä tässä työssä kappaleessa 2.2.2. [2.]

Sähkömarkkinalaki ottaa pykälässä 74 kantaa energianmittaukseen. Taseselvityksen tulee perustua mittaukseen. Näin ollen energianmittaamiselle on kaksi päätehtävää, jotka ovat laskutuksen ja taseselvityksen prosessit. [2.]

Sähköenergian mittaaminen ei ole kaikille jakeluverkonhaltijoille (jäljempänä JVH) vain velvoite. Energianmittaaminen ja todelliset kulutuslukemat ovat peruste todennettuun energialaskutukseen. Mittausvaatimuksen mukaisesti toteutettu mittauspalvelut jättävät tyypikuormituskäyrien soveltamisen laskutuksen pohjana historiaan. Energiamittareiden kehitystyö on jatkuvaa ja koko ajan kehitetään uusia työkaluja paremman mittaus-tarkkuuden saavuttamiseksi. Energiamittareiden itsediagnostiikka ja mittautietojen hyödyntäminen häviötase tarkastelussa ovat jo nykypäivää. JVH:t suhtautuvat mittausvelvoitteeseen eri intensiteeteillä. Sähköenergiamittareiden uusien ominaisuuksien hyödyntäminen ja kehitystyön eteenpäin vieminen on eriasteista riippuen vastuullisesta osapuolesta.

Sähkömarkkinalaki ottaa vähän kantaa energianmittaamiseen. Sähkömarkkinalaki viittaa tarkentavaan säädökseen, jossa sähköenergian mittaamista määritellään tarkem-

min. Tämä asetus on Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta (66/2009). Sähkömarkkinalaki ei ota itsessään kantaa tasejakson pituuteen. Tämä on siinä suhteessa hyvä, ettei lakia tarvitse lähteä muuttamaan tasejakson lyhentämisessä. Tasejakso nähdään lyhenevän 15 minuuttiin vuosien 2020 - 2021 välillä. Tasejakson lyhentymistä ja sen vaikutusta energiamittareihin käydään läpi myöhemmin työssä kappaleessa 3.2.2. [14, s. 12.]

Euroopan Unionin direktiivien pohjalta valmistellaan kansallinen lainsäädäntö. Direktiivissä 2009/72/EY mainitaan siirtoverkonhaltijan tehtäväksi mahdollistaa kysyntäjoustopalvelut. Tällaista mainintaa ei kuitenkaan sähkömarkkinalaissa löydy.

2.1.3 Mittausasetus

Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta (66/2009) on päivitetty (217/2016) (jäljempänä mittausasetus), ja se määrittelee sähkömarkkinalain (588/2013) nojalla periaatteet sekä toimintatavat sähkön tuntikohtaisesta mittaamisesta sekä taseselvitysvelvoitteista.

Mittausasetus ottaa yksityiskohtaisesti kantaa sähköenergian mittaamiseen. Mittausasetuksessa määritellään koko toimintaketju energiamittaamiseen ja sen velvoitteisiin. Keskityn työssäni energiamittareihin ja sillä perusteella rajaan muut mittausasetuksen kohdat pois käsittelystäni. Mittausasetusta on päivitetty vuonna 2016, jolloin siihen tarkennettiin yhteispohjoismaisen taseselvitysmallin (NBS-mallin) vaatimat muutokset. Mittausasetuksen päivitys ei tuonut merkittäviä muutoksia energian mittaamisen käytäntöihin ja toimintatapoihin. [15; 16.]

Energiamittareiden mittauslaitteiston vähimmäisvaatimukset on määritelty mittausasetuksen (66/2009) kuudennessa luvussa pykälässä viisi. Tässä kohdassa määritellään pakolliset minimivaatimukset, jotka kaikki laskutus- ja tasemittausten tulee täyttää:

Tuntimittauslaitteiston ja verkonhaltijan mittaustietoa käsittelevän tietojärjestelmän toiminnalliset vaatimukset sähköverkossa

Sähkönkäyttöpaikkaan asennettavan tuntimittauslaitteiston ja verkonhaltijan mittaustietoa käsittelevän tietojärjestelmän tulee sisältää vähintään seuraavat ominaisuudet:

1) mittauslaitteiston rekisteröimä tieto tulee voida lukea laitteiston muistista viestintäverkon kautta (etäluentaominaisuus);

2) mittauslaitteiston tulee rekisteröidä yli kolmen minuutin pituisen jännitteettömän ajan alkamis- ja päättymisajankohta;

3) mittauslaitteiston tulee kyetä vastaanottamaan ja panemaan täytäntöön tai välittämään eteenpäin viestintäverkon kautta lähetettäviä kuormanohjauskomentoja;

4) mittaus tieto sekä jännitteetöntä aikaa koskeva tieto tulee tallentaa verkonhaltijan mittaus tietoa käsittelevään tietojärjestelmään, jossa tuntikohtainen mittaus tieto tulee säilyttää vähintään kuusi vuotta ja jännitteetöntä aikaa koskeva tieto vähintään kaksi vuotta;

5) mittauslaitteiston ja verkonhaltijan mittaus tietoa käsittelevän tietojärjestelmän tietosuojan tulee olla asianmukaisesti varmistettu.

Verkonhaltijan tulee asiakkaansa erillisestä tilauksesta tarjota tämän käyttöön tuntimittauslaitteisto, jossa on standardoitu liitäntä reaaliaikaista sähkönkulutuksen seurantaa varten.

[15; 16.]

Käytännössä tässä kappaleessa on määriteltyjä ehtoja, joita on vaikea lähteä jakamaan energiamittarin ja sitä lukevan järjestelmän kesken. Asetuksen vaatimuksia tulee käsitellä yhtenä kokonaisuutena. Asetukseen on määritelty sellaisia ominaisuuksia tuntimittauslaitteistolle, joita on nähty tarpeellisiksi nykyään ja myös tulevaisuudessa. Seuraavassa on avattu, minkä takia nämä vaatimukset ovat päätyneet mittausasetukseen:

1. Etäluentaominaisuus eli tuntimittausvaatimus on Suomen ensimmäisen sähköenergiamittarikannan kulmakivi. Tämä ominaisuus mahdollisti Suomessa ensimmäisenä Euroopassa tuntihintaisen markkinasähkön ostomahdollisuuden aina loppukuluttajilla asti
2. Jännitteettömyyden rekisteröinti juontaa juurensa Asta myrskyyn asti. Tämän vaatimuksen perusteella saadaan rekisteröityä kestikö myrskytuhojen korjaus kauemmin kuin sähkömarkkinalain (588/2013) 51 pykälä edellyttää. Loppuasiakas on oikeutettu rahalliseen korvaukseen, kun jännitekatkos kestää yli 6 tuntia asemakaava-alueella ja muualla sähköverkossa 36 tuntia
3. Kuormanohjausvaatimus olisi pitänyt jälkikäteen ajateltuna määritellä tiukemmaksi. Tarkoituksena tässä vaatimuksessa on mahdollistaa sähkönjakelun keskeytys esimerkiksi jakeluverkon loppukäyttäjältä, jos esimerkiksi sähkölasku on jäänyt maksamatta. Kuormanohjausreleiden kautta voidaan toteuttaa ohjauksia kysyntäjoustopon hyödyntämiseksi. Ohjaukset kuitenkin toimivat tässä tehtävässä vaihtelevasti ja vasteaika jää kysymysmerkiksi, sillä ohjauksen vasteaikaa ei ole määritelty tähän tarpeeseen. Tätä ongelmaa opinnäytetyöni käy läpi myöhemmin.

4. Lokitietovaatimus sitoutuu vahvasti toisena olleen vaatimuksen kanssa yhteen. Tiedot jakelukeskeytyksistä täytyy jäädä säilöön energiamittarin rekisteriin
5. Tietosuojan tulee olla asianmukainen. Tämä vaatimus on täysin validi ja siihen tulee kiinnittää nykyistä enemmän huomiota. Vähimmäisvaatimuksen määrittely tässä kysymyksessä on varmasti tulevaisuudessa paikallaan
6. Viimeisenä kohtana on numeroimaton vaatimus, jossa mittauspalveluntoimittajalle asetetaan vaatimus, jossa se velvoitetaan hankkimaan sellaisia energiamittareita, joista loppuasiakkailla on mahdollisuus saada standardoidun liitännän kautta reaaliaikaista sähkönkulutustietoa omasta sähkönkulutuksestaan

Mittausasetuksen tarkoituksena on ollut siirtää Suomen energiamittarikanta AMR 1.0 aikaan. Tämä tarkoittaa Suomen tapauksessa sitä, että energiamittareiden tuli täyttää tuntimittausvaatimus. Tuntimittausvaatimus on vaatimus, jossa JVH:n tehtäväksi jäi toteuttaa järjestelmä, joka pystyy etäyhteyden kautta hakemaan energiamittareilta mittautiedot. Tämä tuntimittausvaatimus oli ensimmäinen askel kohti älykkäiden sähköverkkojen aikaa. [15.]

Valtioneuvoston asetus ei ota kantaa muuhun mittaukseen, kuin tuntikohtaiseen sähköenergianmittaukseen. Asetus tulee lähivuosina muuttumaan, sillä jo vuosina 2020–2021 otetaan käyttöön 15 minuutin kaupankäyntijakso. Tämä muutos on askel suuntaan lähemmäs kohti reaaliaikaisempaa sähkömarkkinaa. [14, s. 12.]

2.1.4 Sähköenergian mittaamisen standardit

Sähköenergian mittauksesta löytyy oma standardi käsikirjasto. Pääosin sähköenergian mittauksen standardit koostuvat SESKON SFS-Käsikirjoista 620-1 ja 620-2. Nämä standardit ovat päivitetty vuonna 2009, jolloin mittausasetus (66/2009) julkaistiin. Standardi määrittelee taas seuraavalla ja syvemmällä tasolla sähköenergian mittaamista. Standardeista löytyy muun muassa lainsäädäntöpohjaa, standardoimisjärjestelmiä, virallisia tunnuksia ja symboleja, tiedonsiirron protokollia, asentamista, sähkömagneettista yhteensopivuutta yms. kaikkia vaatimuksia, joita markkinoilla olevien sähköenergiamittareiden tulee täyttää.

Standardien voimaantulo on verrattavissa lakien muodostumiseen. Lait muokkautuvat Euroopan Unionin direktiiveistä kansalliseksi lainsäädännöksi. Sama tapahtuu maailmanlaajuisesti IEC-standardeista (IEC) eurooppalaisiin CENELEC-standardeihin (EN) ja niistä taas kansalliseen SESKO-standardeihin (SFS). [17, s. 8-11.]

Suomessa SESKON sähköenergian mittauksen standardointia tekee työryhmä SK 13. Työryhmän tavoitteena on vaikuttaa IEC- ja CENELEC-standardointiprosesseihin ja näin ollen vaikuttamaan päätöstentekoon. Työryhmä on tiiviisti mukana energiamittareiden osalta älykkäiden sähköverkkojen standardoinnissa. Tällä hetkellä Fingrid Oyj:llä ei ole edustajaa työryhmässä. [18.]

2.2 Sähköverkkoliiketoiminta

2.2.1 Tehotasapainon hallinta sähköverkossa

Sähköjärjestelmän toimintaperiaate on se, että sähkönkulutuksen ja tuotannon tulee olla joka hetki tasapainossa. Kaikissa tilanteissa täytyy aina olla keinot tehotasapainon palauttamiseen. Liiallinen tuotanto suhteessa kulutukseen johtaa verkkotaajuuden nousuun ja päinvastoin liiallinen kulutus suhteessa tuotantoon saa verkkotaajuuden laskemaan. Liiallinen poikkeaminen verkkotaajuudesta johtaa jännitepoikkeamaan, joka vahingoittaa sähköjärjestelmään kytkettyjä komponentteja. Verkkotaajuus ei usein laske tai nouse paljoakaan nimellisarvosta, joten tällaisia vikoja muissa kuin saarekekäytöissä tapahtuu harvoin. Suurempi riski sähköjärjestelmän epätasapainon lisääntymiseen on taaajuuspoikkeamatilanteessa, jossa verkkotaajuuden palauttamiseen tarkoitetut reservit ovat ja aktivoituneet edellisestä häiriöstä ja tämän jälkeen käy toinen verkkotaajuuteen voimakkaasti vaikuttava häiriö, jolloin sähköjärjestelmän tehonvajaussuojan voi aktivoida. Tehonvajaussuoja kytkee sähköjärjestelmästä suurpiirteisesti kuormaa pois, jolloin verkkotaajuus saadaan palautettua tätä kautta normaalille tasolle. Energiavirasto on luovuttanut Fingrid Oyj:lle oikeuden olla järjestelmävastaava, joten vastuu voimajärjestelmän tasapainottamisesta jokaisen käyttötunnin sisällä on viimekädessä Fingrid Oyj:n velvollisuus. [19; 20.]

Perinteisesti tehotasapainoa on hallittu tuotantoa säätelämällä vesi- ja lauhdevoimalaitoksissa. Muut perinteiset energiantuotantomuodot kuten hiili- ja lauhdevoima ovat jäätymässä jälkeen niin ilmastollisin perustein kuin kustannustehokkuutensa kautta. Uusiutuvat energiantuotantomuodot, kuten tuuli- ja aurinkovoimalat eivät ole teknistaloudellisesti

säätökykyisiä. Ydinvoima puolestaan ajaa Suomessa tasaista tehoa, vaikka muualla Euroopassa löytyy ydinvoimaloita, jotka ovat tuotannoltaan säätökykyisiä. Tasaisen tehon tuottaminen on taloudellisesti tarkasteltuna kustannustehokkainta. Säätökyky nostaisi ydinvoimaloiden tuottaman sähkötehon tuotantohintaa ja näin hankaloittaisi asemaansa sähkömarkkinoilla. Näin ollen suomalaisista ydinvoimaloista ei nykyisellään ole apua tehotasapainon hallintaan. Tästä syystä tehotasapainon hallinta ja säätökykyinen kulutus sekä tuotanto nousevat tulevaisuudessa korkeaan arvoon. [19; 20.]

Fingrid on määritellyt periaatteen, jonka mukaan kantaverkon tehonhallinta on mitoitettu. Tämä mitoituskriteeri on sovittu Pohjoismaissa yhteisesti kaikkien järjestelmävastaavien kesken. Periaate on nimetty N-1 -kriteeriksi, joka tarkoittaa sitä, että sähköjärjestelmä kestää minkä tahansa yhden vian sähköverkossa. Käytännössä tämä tarkoittaa loogisesti suurimpien tuotantopisteiden tai rajasiirtoyhteyksien (AC- ja HVDC-yhteydet) nopeaa poistumista verkosta. [21.]

Liiallinen sähköön kulutus suhteessa tuotantoon johtaa siihen, että normaali 50,00 Hz verkkotaajuus alkaa laskemaan. Verkkotaajuus saa normaalitilanteissa vaihdella 49,9 - 50,1 Hz, mitä enemmän alijäämää tuotannolla on, sitä nopeammin verkkotaajuus laskee. Tällaisia nopeita taajuuden laskuja havaitaan usein tilanteissa, jossa syystä tai toisesta paljon tehoa tuottava sähköön tuotantolaitos joudutaan ajamaan alas tai se sulkeutuu yllättävästi. Näissä tapauksissa puhutaan ns. sähköverkon vikatilanteesta, jossa sähköverkosta nopeasti poistuva tuotanto saa aikaan tehotasapainon alijäämän ja verkkotaajuus alkaa laskemaan. Suuret verkkotaajuuden poikkeamat voivat välillisesti pahimmassa tapauksessa vaurioittaa sähköjärjestelmää ja siihen liitettyjä komponentteja. Verkkotaajuuden muuttuessa 47,5 - 51,5 Hz alueelta pois alkaa sähköjärjestelmästä sulkeutua pois tuotantolaitosten generaattoreita, joten tähän rajaan rajoittuu sähköjärjestelmän taajuuskestävyys. Huomattava verkkotaajuuden alenema eli 49,0 Hz aktivoi tehonvajaussuojan, jolloin kuormia kytketään irti. Tämä voi näkyä loppukäyttäjille sähkökatkona. [22.]

Tehotasapainon ollessa alijäämäinen voimalaitosten generaattorit, jotka saavat pyöri- västä liike-energiasta voimansa, ja jotka ovat synkronoitu pyörimään verkon taajuuden mukaan hidastuvat ja tällöin verkkotaajuus laskee. Verkon taajuuden laskua vastustava voima on nimeltään inertia. Uusiutuvat vaihtelevat tuotantomuodot eivät varastoi samalla tavoin inertiaa kuin isojen voimaloiden generaattorit, mikä taas vie sähköjärjestelmää tulevaisuudessa koko ajan herkempään tilaan verkkotaajuuden vaihteluille.

Tehotasapainon hallinnassa optimaalinen tilanne on se, että sähkömarkkinat eri markkinapaikoillaan hoitavat markkinaehtoisesti tehotasapainon tasapainottamisen. Markkinoiden reagointikyky voi olla liian hidas vakavien tehopulatilanteiden hoitoon, joten näissä tilanteissa järjestelmävastaava tekee omat päätöksensä toimenpiteistä tehotasapainon hallitsemiseksi. Sähkömarkkinoiden kehittyminen, lisääntyvä dynaamisuus ja kehittyvät markkinapaikat vievät tehotasapainon hallintaa koko ajan markkinaehtoisemmiksi. Kysyntäjousto näyttelee tässä paletissa omaa osaansa, joka vaikuttaa kantaverkon tehotasapainonhallinnasta jokaisen loppukuluttajan omiin valintoihin.

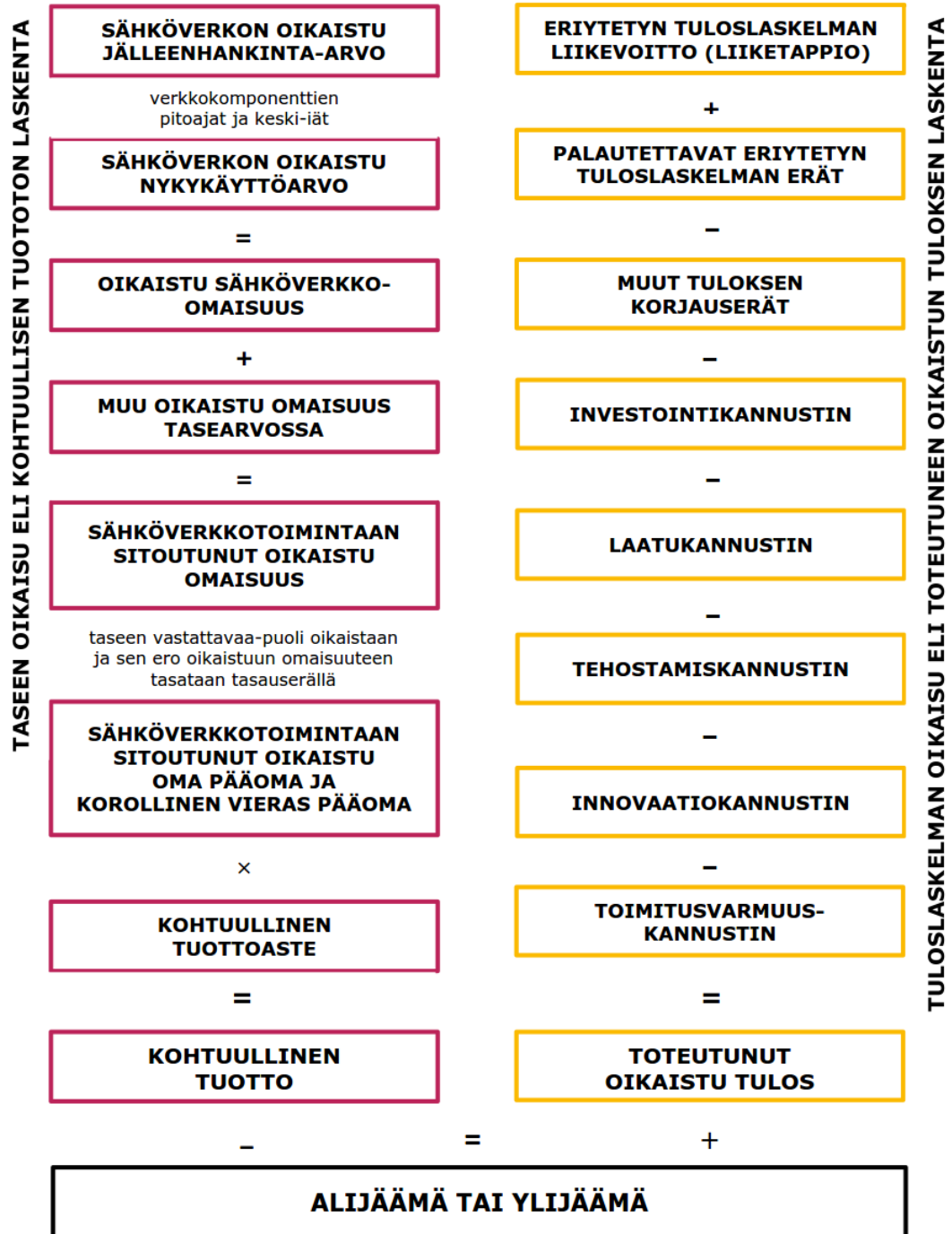
2.2.2 Sähköverkkoliiketoiminnan valvontamalli

Sähköverkkoliiketoiminta on Suomessa säädeltyä liiketoimintaa. Sähkömarkkinalaki (588/2013) määrittelee rajaukset sähköverkkoliiketoiminnalle. Tarkemmin sähkömarkkinalakia on käsitelty kappaleessa 2.1.2. Lain tarkoituksena on säätää rajat toimintaperiaatteille, jotta saadaan aikaseiksi kilpailutilanne eri toimijoiden välille sähkömarkkinoille. Sähköverkkoliiketoiminta on toimimista luonnollisessa monopolissa tarkoittaen, että kansantaloudellisesti ei ole järkevää rakentaa kahta rinnakkaista sähköverkkoa.

Monopoliasemassa toimiminen asettaa omat haasteensa terveen kilpailun muodostamiseksi. Verkkoyhtiöiden kuten muidenkin yhtiöiden pääasiallinen tehtävä on tehdä mahdollisimman hyvää taloudellista tulosta omistajilleen. Sähköverkkoliiketoiminnassa tällainen suora ajattelu voiton tavoittelemisesta ja sen säätely on lähes välttämättömyys.

Säätelyviranomaisena Suomessa toimii Energiavirasto, joka valmistelee säätelymallin (jäljempänä regulaatiomalli). Regulaatiomallin perusteella määräytyy se, paljonko tuottoa JVH voi tuottaa omistajilleen. Regulaatiomalli on käytännössä laskentakaava, jonka perusteella kohtuullinen tuotto määräytyy. Kohtuullisesta tuotosta vähennetään regulaatiomallin määrittelemät menoerät, jonka jälkeen kohtuullisen tuottoasteen avulla lasketaan sallittu tuotto.

1.1 YHTEENVETO VALVONTAMENETELMISTÄ



Kuvio 1. Valvontajakson 2016 - 2019 ja 2020 - 2023 valvontamenetelmät
[23, s. 6]

Kuviossa 1 voidaan nähdä yleiskuva tämän hetkisestä valvontamallista. Käytännössä mitä uudempi sähköverkko ja sen komponentit ovat, sitä arvokkaampi sähköverkon

verkko-omaisuus on. Kohtuullinen tuottoaste on EV:n määrittelemä prosentti, jonka perusteella määräytyy, paljon kohtuullista tuottoa kerätään. Tämä houkuttelee pitämään sähköverkon verkko-omaisuuden korkealla tasolla.

Valvontamalli suosii verkkoyhtiöitä uusimaan laitekantaansa sähköverkossa usein. Uusiminen tulee kysymykseen, kun komponentin laskennallinen taloudellinen kuoletusarvo on laskenut nollaan. Tämä pätee niin energiamittareihin kuin muihinkin komponentteihin. Valvontamalli suosii uusimaan sähköverkon laitekantaa taloudellisin perustein, eikä aina välttämättä teknisen käyttöiän perustein. Asia käy ilmi Euroopan Unionin tekemässä kustannushyötyanalyysissä uuden sukupolven energiamittareiden uusimisesta, jossa kustannushyötyanalyysin aikajänteeksi on otettu 15 vuotta, mutta energiamittarin eliniäksi 15 - 25 vuotta. Kuoletusaika energiamittarille täten määritellään 15 vuoteen ja tällöin energiamittareita aletaan vaihtamaan uusiin, vaikka teknistä käyttöikää energiamittarilla voisi olla vielä 10 vuotta parhaimmillaan jäljellä. [25, s. 38.]

Valvontamallin hiomattomuudet voivat olla tekijöitä, jotka hidastavat tai nopeuttavat älykkäiden sähköverkkojen edistymistä. Uusien teknisten toteutusten kuten lisälaitteen lisääminen energiamittariin nopeamman kytkentäpotentiaalin lisäämiseksi ei ole verkkoyhtiöille taloudellisesti kannattavaa. Lisälaitetta ei voi välttämättä suoraan lisätä verkko-omaisuudeksi. Verkko-omaisuuteen voi lisätä vain ne osat, jotka valvontamalliin on määriteltä. Valvontamallista löytyy nykyään vain yksi kohta energiamittarille, jossa on yksi hinta-sarake sähköenergiamittarille. Tämä eliminoi mahdollisuudet vanhempien laitteiden päivittämiseksi uusilla lisäosilla tai erityyppisten sähköenergiamittareiden hankinnan asiakkaiden tarpeiden mukaan. Mallissa on vielä kehitettävää ja pienillä lisäyksillä voidaan saada paljon aikaan. Hyvin kehityksessä mukana oleva valvontamalli ohjaa älykkäiden sähköverkkojen kehittymistä siihen suuntaan, jota kehitykseltä halutaan.

Valvontamallista löytyy kohta innovaatiokannustin. Innovaatiokannustimen hyödyntäminen on yksi hyvä keino uusien teknisten ratkaisujen tutkimiseen. Uusien toteutusten pilottikokeiluja ei suoraan kannata tai pysty tuomaan valvontamalliin mukaan, joten toteutukselle on mahdollista hakea innovaatiokannustimen kautta tukea. Tätä kautta verkkoyhtiöille tarjotaan mahdollisuus edistää osaamistaan älyverkkojen edistämiseksi siten, että taloudellisesti JVH ei joudu maksamaan koko projektia omasta tuotostaan.

Yhteenvedona oikein suunniteltu ja valmisteltu valvontamalli on juuri se insentiivi, joka saa nykyistä sähköverkon kehitystä älykkäämpään suuntaan. Sähköenergiamittareiden

kehitys menee eteenpäin nopeasti muuttuvassa toimintaympäristössä ja näin ollen mitausvastuullisten osapuolten tulee olla valppaina uusista mahdollisuuksista. Valvontamallin ja lainsäädännön tulee pysyä kehityksessä mukana tai se alkaa jarruttamaan kehitystä kohti älykkäämpiä sähköverkoja. Valvontamallin tulee olla kehityksen kärjessä mahdollistamassa uusien teknisten toteutusten taloudellinen kannattavuus verkkoyhtiöille. Verkkoyhtiöiden tulee olla hereillä valvontamallin hyödyntämisessä, sillä eri kannustimet voivat tarjota mahdollisuuden testata uusia teknisiä toteutuksia ja toimintatapoja.

2.3 Sähköverkkoliiketoiminnan markkinapaikat

2.3.1 Sähkömarkkinat

Suomessa sähkömarkkinat avautuivat kilpailulle vuonna 1995. Sähkömarkkinoita ohjaava lainsäädännön myötä asetettiin sähkömarkkinalaki (386/1995), jossa määriteltiin suuntaviivat sähkömarkkinoiden toiminnalle sähkön tuonnin, tuotannon, viennin, siirron ja myynnin näkökulmista. Tuo vuonna 1995 asetettu sähkömarkkinalaki on nykyään ku-mottu ja päivitetty tuoreempaan sähkömarkkinalakiin (588/2013). [2.]

Avoimien sähkömarkkinoiden tehtävänä on tehdä markkinaehtoinen pelikenttä kaikille sähkömarkkinoilla toimiville osapuolille. Markkinasäännöt muuttuvat koko ajan ja pyrki-mys on päästä kaupankäynnissä lähemmäs ja lähemmäs käyttötuntia pienemmillä markkinajaksoilla kuten puhtaan energian paketissa kappaleessa 2.1.1 mainittiin. [6.]

Fingrid Oyj:n tehtävät sähkömarkkinoiden kannalta on huolehtia kantaverkon riittävästä siirtokapasiteetista markkinoiden tarpeisiin, jakaa sähkömarkkinatietoa tasapuolisesti sekä kehittää sähkömarkkinoita ja markkinasääntöjä viranomaisten, asiakkaiden, sähkömarkkinaosapuolten sekä muiden kantaverkkoyhtiöiden kanssa. Fingrid kehittää koko ajan toimintaansa sekä yhtenäisiä pelisääntöjä sähkömarkkinoilla. [26.]

Sähkömarkkinoilla on toiminnassa eri sähkömarkkinapaikkoja. Eri sähkömarkkinapaikat ovat eri aikajän-teillä toimivia markkina-alustoja, joissa käydään kauppaa pääsääntöisesti siten, että mitä lähemmäs käyttötuntia mennään, sitä pienemmillä säätötehoilla kauppaa tyypillisesti käydään.

2.3.2 Reservimarkkinat

Reservimarkkinoiden ja säätösähkömarkkinoiden tehtävänä on tasapainottaa sähkön kulutusta ja tuotantoa Suomessa. Reservi- ja säätösähkömarkkinat ovat pohjoismaiden laajuinen markkinapaikka säätökykyiselle sähkötehon kulutukselle ja tuotannolle. Eroavaisuutena sähkömarkkinoihin reservimarkkinoilla käydään kauppaa sähkömarkkinoiden sulkeutumisen jälkeen. Pääperiaatteena on se, että suuret volyymit tehokaupasta käydään sähkömarkkinoilla ja pienemmät hienosäädöt sekä ennalta-arvaamattomat ongelmatilanteet hoidetaan reservimarkkinoilla. Kyseessä on huomattavasti nopeampi markkinapaikka. Reservimarkkinoilla vain osa tuotannosta aktivoidaan käsin. Toinen osa reserveista aktivoituu ennalta aseteltujen arvojen ylityksestä tai alituksesta automatiikan avulla. Myös säätökykyisten kuormien sähkötekniset ominaisuudet, kuten minimitarjouskoko (MW), aktivoitumiseen kuluva aika (min) ja verkkotaajuuden mukaan reagoivat taajuusrajat (Hz) ovat huomattavasti vaativampia teknisesti saavuttaa kuin perinteisillä sähkömarkkinoilla.

Reservimarkkinoiden eri kauppapaikat voivat olla hyvinkin potentiaalinen markkinapaikka säätökykyiselle kysyntäjoustolle. Nykyisin ongelmia olevat tasevastuut, markkinapaikkojen minimitarjouskoot ja jouston varmennukset, jotka tulevat ratkeamaan aggregaattori tullessa asiakkaan ja markkinapaikkojen väliin. Loppuasiakasta nostetaan nykyään sähkömarkkinoissa toiminnan keskiöön, mutta ihan yksittäisten loppuasiakkaiden jouston tarjoaminen sähkömarkkinoille ei tule olemaan jatkossakaan mahdollista. Mahdollistajan roolissa toimii sähkömarkkinoiden uusi osapuoli, aggregaattori. Sähkö- ja reservimarkkinoilla kaupankäynnissä on edellä mainittuja pakollisia velvoitteita, joista loppuasiakkaan on vaikea itsenäisesti huolehtia. Aggregaattori toimii loppuasiakkaan ja sähkömarkkinoiden välissä mahdollistamassa yksittäisten loppuasiakkaiden joustojen liittymistä ja huolehtii näiden osalta pakollisten viranomaisvelvoitteiden hoitamisesta. Käytännössä aggregaattori kerää omaan joustopooliinsa tarpeeksi suuren määrän yksittäisiä loppuasiakkaita, jotta markkinoille liittymisen edellytykset täyttyvät. Loppuasiakas on joustonsa hallitsija aina. Vaikka aggregaattori tarjoaisi joustopoolinsa joustoa sähkömarkkinoille, niin loppuasiakkaalla tulee aina olemaan lopullinen päätösvalta toteutuuko jousto hänen sähkökäyttöpaikallaan vai ei. Aggregaattori ei lähtökohtaisesti voi toteuttaa markkinaehtoisesti optimaalisinta jouston tarjoamaa, sillä tällainen markkinaehtoinen tarjoaminen tuottaisi kylläkin suurimmat taloudelliset edut niin aggregaattorille kuin loppuasiakkaalle, mutta samalla se voisi vaikuttaa loppuasiakkaan elämänlaatuun (esimerkiksi lämminvesivaraajan vesi kylmenee). [14, s. 24.]

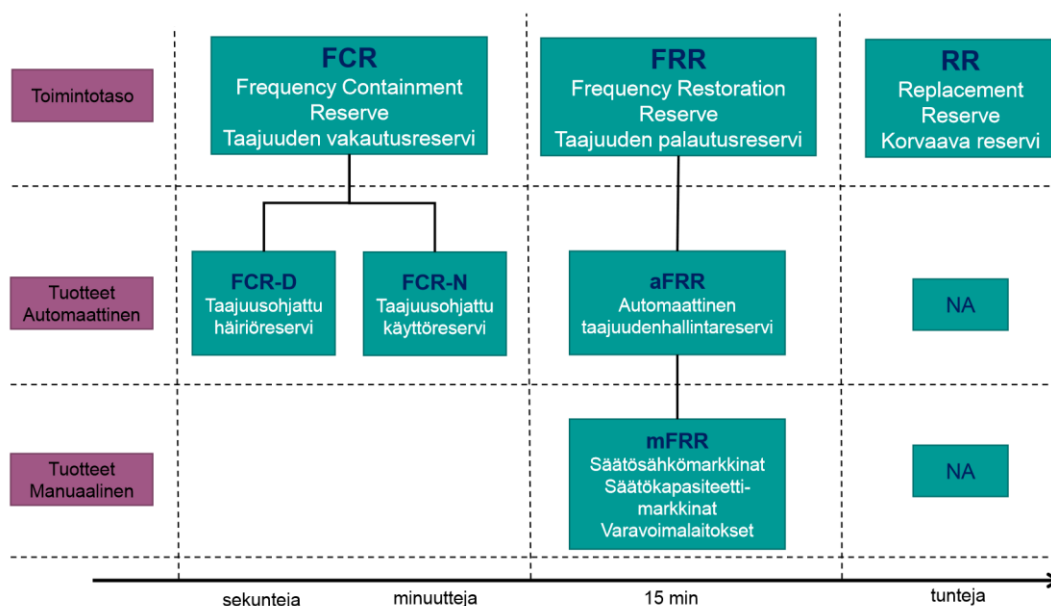
Reservimarkkinoihin kuuluva seuraavat tuotteet (Kuvio 2 - Pohjoismaissa käytössä olevat reservit):

- Taajuusohjattu häiriöreservi (FCR-D)
 - Taajuusohjattua häiriöreserviä on Suomessa käytössä 220–265 MW, sekä pohjoismaissa yhteensä yli 1 200 MW
 - Taajuusohjattu häiriöreserviä pohjoismaissa on aina synkronijärjestelmän suurimman yksikön (Oskarshamn 3 - Ruotsi) mukainen määrä varalla
 - Harvemmin aktivoituva eli todellisiin häiriötilanteisiin
 - Aktivoituu automaattisesti sekunneissa

- Taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N)
 - Säättää itsenäisesti verkkotaajuuden laskiessa tai noustessa
 - Taajuusohjattua käyttöreserviä on saatavilla Suomesta 140 MW ja yhteisesti Pohjoismaista 600 MW
 - Automaattisesti aktivoituva, tekee koko ajan työtä
 - Markkinapaikka, jossa mm. kysyntäjoustopilottihanke "Fortum Spring"
 - Aktivoituu minuuttitasolla

- Automaattinen taajuudenhallintareservi (aFRR)
 - Pyrkii pitämään taajuuden 50,0 Hz
 - Automaattista taajuudenhallintareserviä on saatavilla 70 MW ja yhteisesti Pohjoismaista 300 MW
 - Aktivoituu Fingrid Oyj:n tehopyyntösignaalin perusteella
 - Ajetaan yleisesti aamun ja illan huipputunneilla
 - Testikäytössä oleva ja tämä on FCR-N reservin "taustatuki"
 - Aktivoituu minuuttitasolla

- Yhteispohjoismaiset säätösähkömarkkinat (mFRR)
 - Manuaalisesti aktivoituva
 - Fingrid Oyj osaltaan ylläpitämä säätösähkömarkkinoita.
 - Aktivoituu 15 minuutin aikajänteellä



Kuvio 2. Pohjoismaissa käytössä olevat reservit [27, s. 4]

Tarkemmin kysyntäjousto ja reservimarkkinapaikkojen tekniset vaatimukset löytyvät taulukosta 1. Taulukkoon on määritelty kriittiset ajat, minimi tarjouskoko (pätötehoa) ja taajuudet sekä aktivoitumisen menetelmä ja aktivoitumistaajuus. Nämä ominaisuudet on täytettävä, jotta reservimarkkinapaikalle voi osallistua.

Taulukko 1. Reservimarkkinoiden tekniset vaatimukset [28, s. 78]

Markkinapaikka:	Minimisäätö:	Säädettävyys ja aktivoitumisaika vaatimukset:	Aktivointi:
Säätösähkömarkkinat	10 MW	15 minuuttia	Useita kertoja vuorokaudessa
Taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N)	0,1 MW	Taajuusalueella 49,9 - 50,1 Hz, aktivoiduttava 3 minuutissa. +/- 0,1 Hz:n muutoksesta	Jatkuvasti
Taajuusohjattu häiriöreservi (FCR-D)	1 MW	Voimalaitoskoneisto: Aktivoiduttava 50 % / 5 sekunnissa ja 100 % / 30 sekunnissa, kun taajuus laskee alle 49,9 Hz. Relekuorma: Kytkeydyttävä irti 5 sekunnissa kun taajuus alle 49,7 Hz tai 3 sekunnissa jos taajuus alle 49,6 Hz tai 1 sekunnissa jos taajuus alle 49,5 Hz.	Voimalaitos: Useita kertoja vuorokaudessa. Relekuorma: Melko harvoin
Automaattinen taajuudenhallintareservi (aFRR)	5 MW	2 minuuttia	Fingrid ilmoittaa etukäteen tunnit joille reserviä hankintaan
Nopea häiriöreservi (mFRR)	10 MW	15 minuuttia	Harvoin
Tehoreservi	10 MW	15 minuuttia	0 - 2 kertaa talvessa

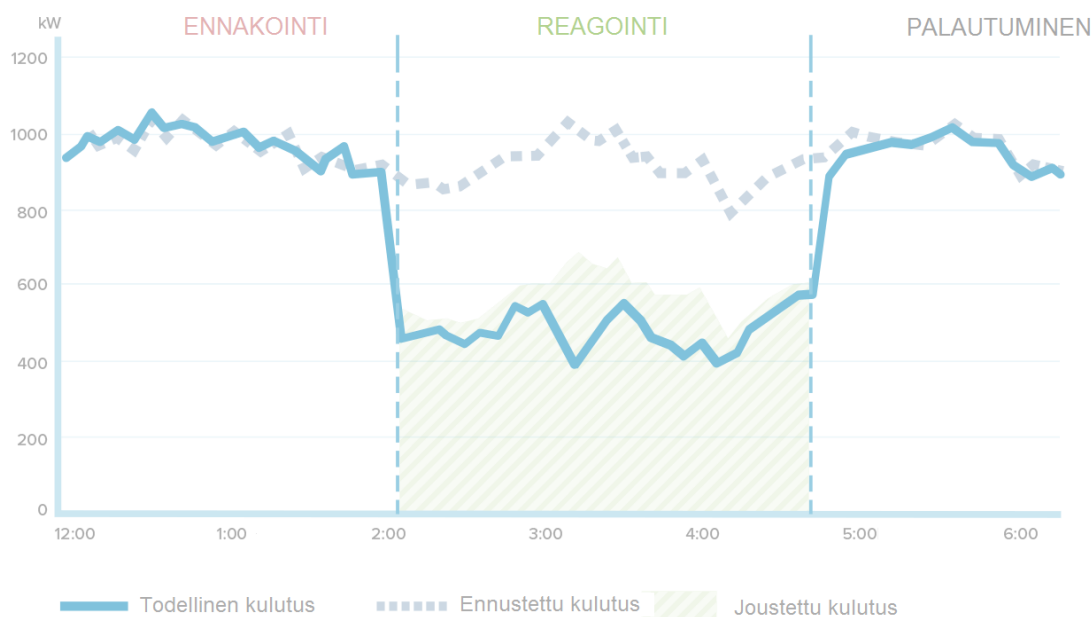
2.4 Kysyntäjousto

2.4.1 Yleistä

Kysyntäjousto on käytännössä yksi työkalu tehotasapainon hallinnassa. Tehotasapainoa käsiteltiin aikaisemmin kappaleessa 2.2.1. Pääsääntöisesti loppukuluttajalle kysyntäjousto on sähkötehon kulutuksen siirtämistä markkinahintaisesti halvemmille käyttötunneille. Kysyntäjousto on laaja käsite. Kysyntäjousto pystyy joustamaan niin tuotannon

kuin kulutuksenkin puolelta. Eräiden määrittelyiden mukaan kysyntäjousto on vain joustoa kulutuksen puolelta, mutta pääperiaate joustosta tuotannon puolelta on täysin vastaava. Tilanne, jossa sähkön kuluttaja siirtää suunnittelemansa sähkönkäytön toiseen ajankohtaan kutsutaan kulutusjoustoksi. Kulutusjouston vastakohtana on tuotantojousto, jolloin sähköntuottaja lisää tuotantoaan niille tunnille, johon tarvitaan enemmän sähkötehoa. Kysyntäjousto koostuu siis kulutus- ja tuotantojoustoista. Keskimmäisenä ajatuksena on tuoda loppuasiakkaat sähkömarkkinoiden keskiöön ja tarjota heille mahdollisuus osallistua sähkömarkkinoille kysyntäjoustoos osallistumalla. Kysyntäjoustopa on tullut poliittisesti kiinnostava aihe vuoden 2016 julkaistun Euroopan Unionin sähkömarkkinoiden puhtaan energian -paketin myötä. [28.]

Politiikan keskiöön päässeestä kysyntäjoustopa tuli uuden puhtaamman energiapaketin myötä kiinnostava aihe niin Suomessa kuin muualla maailmassakin. EU:n puhtaan energianpaketissa painotetaan loppuasiakkaan siirtämistä energiakentän keskiöön. Loppukuluttajien asemaa vahvistetaan oman pientuotannon, energiavarastoinnin, energian kaupankäynnin sekä kulutuksen joustopa hyödyntämisen osa-alueilla. Kuluttajille tullaan tarjoamaan tulevaisuudessa ne teknologiat käyttöön, joita muun muassa tehokas kulutuksen jousto tarvitsee tehokkaaseen hyödyntämiseen. Sähkön tukkumarkkinoiden osalta kehityksessä tulee huomioida koko ajan kasvava tarve lyhemmille kaupankäyntijaksoille vaihtelevan tuotannon haasteiden myötä. Markkinoiden tulisi toimia mahdollisimman lähelle sähköntoimituksen ajankohtaa ja niiden tulisi palkita joustot niin tuotannon, kulutuksen ja varastoinnin osa-alueilla. Yleisesti mitä lähempänä toimitusajankohdtaa jousto tapahtuu, sitä paremman taloudellisen tuoton siitä saa. Kaikki nämä toimet tuovat lisää työpaikkoja ja mahdollisuuksia innovatiivisille yrityksille ja edistävät matkaa kohti puhtaampaa ja älykkäämpää tulevaisuutta. [29, s. 8, 11.]



Kuvio 3. Kysyntäjouston mallikuvaaja [30]

Kuviossa 3 kysyntäjouston kuvaaja havainnollistaa kuvalla, mitä kysyntäjoustossa käytännössä tapahtuu. Kuva on jaettu kolmeen alueeseen: ennakointi, reagointi ja palautuminen. Kuvaan on mallinnettu laskennallinen ennuste (Ennustettu kulutus), joka perustuu historiatietoon ja se mallintaa, mikä on joustopisteen oletettu kulutus missäkin ajan hetkellä. Joustopisteen todellinen jousto poikkeaa laskennallisesta ennusteesta, mutta erot todellisen jouston ja laskennallisen mallin välillä eivät ole suuria. Kuvaajan aikajännteeksi on otettu yli kahden tunnin joustojakso, mutta käytännössä tuo ajanjakso voi olla hyvinkin paljon lyhempi.

Halvemmat käyttötunnit ovat suoraan verrannollisia matalamman huippukulutuksen tunteihin, koska sähkömarkkinoiden tukkuhinta määräytyy kysynnän ja tarjonnan perusteella. Näin ollen huippukulutukselliset sähkökäyttötunnit ovat myös kalleimpia tunteja kuluttaa sähkötehoa. Paikallinen jousto voi muodostaa myös ongelmatilanteita. Jakeluverkoissa jousto voi sijaita missä paikassa tahansa sähköverkon alueella. Esiin voi tulla tilanne, jossa jakeluverkon siirtoyhteydet ylikuormittuvat jouston seurauksena siirtotilan muuttuessa. Kysyntäjousto voi jopa kasvattaa hetkellisesti alueen huipputehoa. Tämä kasvattaa tarvetta entistä reaaliaikaisempaan sähköenergian mittaamiseen ja reagointiin näiden mittausten perusteella. [19, s. 12.]

Ongelmana nykyään yksittäisten loppukuluttajien sähkö- ja reservimarkkinoille lisäämiseen on liian suuret kustannukset suhteessa saataviin hyötyihin. Jokaiselle sähkö- ja reservimarkkinalle on määritelty tekniset vaatimukset, joiden perusteella markkinalle voidaan osallistua. Tilanne on kehittynyt pienin askelin eteenpäin, mutta harppaus kehityksessä puuttuu, vaikka tietojärjestelmät ovat kehittyneet eteenpäin. Juuri hiljattain on käynnistynyt pilottihanke, jossa tutkitaan ulkopuolisen aggregaattorin toimintamahdollisuuksia sähkömarkkinoilla. Tässä vaiheessa tuosta hankkeesta ei ole vielä tuloksia, joten niitä jäädään odottamaan. [1.]

Yösähköohjaus tai ns. kaksiaikatariffi on poistumassa, koska tälle tuotteella ei ole enää käytännön hyötyä. Yösähkö on ollut eräänlainen alkeellinen kysyntäjoustohanke. Historiassa sähkön tehotasapainon muutoksista on havaittu, että yöllä kulutetaan vähemmän sähkötehoa kuin päiväsaikaan. Tämä on ajanut kaksiaikatariffituotteen kehittämiseen. Kaksiaikatariffin poistuminen ei tarkoita sähkönhinnan nousua loppukuluttajille vaan se voi tarkoittaa myös säästöjä. Tulevaisuuden kysyntäjousto-ohjaus voi jatkossa ohjata esimerkiksi varaavaa lattialämmitystä tai lämminvesivaraajaa päälle ja pois useaan kertaan mittausjakson aikana. Se kuinka usein ohjausta jatkossa aletaan käyttämään, riippuu siitä, millaisia tuotteita markkinaehtoinen tuotekehitys tuo tullessaan. Joustavuus voi tuoda paremman taloudellisen hyödyn kuin kaksiaikatariffi. [31.]

2.4.2 Kehitys Euroopassa

Kysyntäjoustopon lisääminen on aiheena pinnalla koko Euroopan laajuudella. SEDC (Smart Energy Demand Coalition) julkaisee raportteja, miten kysyntäjoustopon on edistetty Euroopassa. Viimeisimmästä raportista käy ilmi, että lähes kaikissa seurannankohteena olevissa maissa on tapahtunut positiivista kehitystä kysyntäjoustopon mahdollistamisen puolesta viimeisen kahden vuoden aikana. [28, s. 195.]

Aktiivisimpia kysyntäjoustopon edistäjiä Euroopassa ovat tällä hetkellä Sveitsi, Ranska, Belgia, Suomi, Iso-Britannia ja Irlanti. Raportissa on vertailtu kaikkia Euroopan maat mutta työni tarkastelee vain Suomen edistymistä. Raportissa on otettu huomioon eri osat alueita kysyntäjoustopon edistämiseksi. Taulukko 2. Kysyntäjoustopon edistyminen Euroopassa löytyy tämän kappaleen alta. Vertailukriteerit ovat: kysyntäjoustopon pääsy markkinoille, palveluntuottajan toiminnan mahdollistaminen, tuotteiden vaatimukset ja mittaa-

minen ja mittaustietojen todentaminen, maksut ja sakot. Jokaista kriteeriä arvioidaan numeroasteikolla nollasta viiteen, josta nolla tarkoittaa ei edistymistä ja viisi edistynein. [28, s. 197.]

Taulukko 2. Kysyntäjouaston edistyminen Eurooppa 3/2017 [28, s. 197]

2017					
Valtio:	Kysyntäjouaston pääsy markkinoille:	Palveluntuottajien toiminnan mahdollistaminen:	Tuotteiden vaatimukset:	Mittaaminen, todentaminen, maksut ja sakot:	Yhteensä:
Itävalta	3	1	5	3	12
Belgia	3	3	5	3	14
Tanska	3	1	3	3	10
Viro	1	0	1	0	2
Suomi	5	1	3	5	14
Ranska	5	5	5	3	18
Saksa	3	1	3	3	10
Iso-Britannia	5	3	3	3	14
Irlanti	5	5	3	1	14
Italia	1	0	1	1	3
Hollanti	3	1	3	3	10
Norja	3	1	3	3	10
Puola	1	1	1	1	4
Portugali	0	0	1	0	1
Slovenia	1	1	0	3	5
Espanja	0	0	1	0	1
Ruotsi	3	1	3	3	10
Sveitsi	3	5	3	5	16
Yhteensä:	48	30	47	43	168
Täyden pisteet:	90	90	90	90	360

Yllä olevasta taulukosta 2 käy ilmi SEDC:n näkemys ja pisteytykset kysyntäjouaston edistymisestä Euroopassa. Eri osa-alueet on avattu tarkemmin raportissa. Ensimmäisenä vertailukriteerinä oli kysyntäjouaston pääsy markkinoille. Suomi saa aktiivisen toiminnan ansiosta ja useiden pilottiprojektien käynnistämisestä, täydet viisi pistettä kysyntäjouaston edistämisestä. [28, s. 199.]

Palveluntuottajien toiminnan mahdollistaminen, tässä kriteerissä Suomi on saanut vain yhden pisteen täydestä viidestä pisteestä. Tämä johtuu siitä, että Suomessa ja muissa pohjoismaissa ei ole määriteltä vielä selkeitä rooleja, malleja ja reunaehtoja eri markkinaosapuolille kysyntäjouastossa. Selkeän toimintamallin puuttuminen tiputtaa Suomen pisteet tässä lähelle minimiä. Pohdintaa tämän osa-alueen osalta käydään muun muassa älyverkkotyöryhmässä. Älyverkkotyöryhmän pohdintojen tuloksena tulisi valmistua konkreettinen roolien jaotus eri osapuolille sähköverkkoliiketoiminnassa. [28, s. 199–201.]

Tuotteiden vaatimukset. Tuotteiden vaatimuksilla tarkoitetaan markkinapaikkojen teknisten vaatimusten sopeuttamista pienemmille toimijoille. Mitä pienempiä tarjouskokoja pystytään ottamaan vastaan sähkömarkkinoille, sitä enemmän pienempiä toimijoita saadaan mukaan markkinoille. Tässä Suomen edistyminen ei ole ollut aivan parhaalla tasolla vaan pisteet jäivät kolmeen. [28, s. 201–202.]

Viimeisenä vertailukriteerinä on mittaaminen, todentaminen, maksut ja sakot. Tässä vertailtavana on toteutuksen käytännötoiminta. Kappaleessa 2.4.1 kuvaajassa nähdään laskennallinen mallintaminen oletetulle kulutukselle. Tätä laskennallista ennustetta kutsutaan nimellä ennustettu tuotanto. Tuolle ennustelaskennalle on olemassa monia eri toteutuksia ja näiden laskentojen harmonisointi on ensimmäinen askel yhteiseurooppalaista kysyntäjoustopuon edistämistä. Ongelmia tuottavat myös todellisen joustopuon mittaaminen ja joustopuon todentaminen. Suomen edistyneisyys kuitenkin antaa täydet viisi pistettä. [28, s. 202–204.]

Suomen edistyneisyys kysyntäjoustopuon tuomisessa jokapäiväiseen toimintaa on Euroopan kärkeä. Vain Saksan ja Sveitsin toiminta nähdään edistyksellisempänä kohti kysyntäjoustopuon kuin Suomen. Tärkeimpinä toimenpiteinä nähtiin viranomaisvaatimusten harmonisointi Euroopan tasolla, markkinapaikkojen vaatimusten keventäminen ja yhtenäistäminen sekä eri osapuolten roolien, toimintamallien sopiminen ja yhtenäistäminen. [28, s. 205–207.]

3 Kysyntäjouaston liiketoimintamallit Suomessa

3.1 Taustaksi

Aiemmin työssäni olen käsitellyt asioita, jotka kaikki vaikuttavat sähköverkkoliiketoiminnan pelisääntöihin ja liikkeelle laittaviin voimiin kysyntäjouaston edistämiseksi. Kappaleessa 2 on esitelty osa-alueet, jotka ovat muuttujia kysyntäjouaston edistämisen yhtälössä. Näiden asioiden tiimoilta on esittelemättä kysyntäjouaston lisäämisen toteuttaminen. Kysyntäjoustoratkaisujen implementointi loppukuluttajille tulee tehdä yksinkertaisesti siten, että loppukuluttaja ymmärtää, mitä hyötyä ja haittaa kysyntäjouastoon liittyy. Näin saadaan loppukuluttajat sitoutettua osallistumaan jousto-ohjelmiin. Loppukuluttajien tulee olla toiminnan keskiössä ja hyödyn tulee olla tarpeeksi mittava asian mielenkiintoisuuden kannalta. Lait ja asetukset tulee valmistella ja ottaa täytäntöön kysyntäjouaston liiketoiminnan pelisäännöiksi ennen kuin useat erilaiset liiketoimintamallit sekoittavat loppukuluttajan ajatusmaailman jouaston etuuksista.

Monet toteutusmallit ja erilaiset tekniset ratkaisut antavat valinnanvapautta loppukuluttajalle, mutta samalla ne monimutkaistavat jo melko vaikeasti tajuttavaa kysyntäjouastoa. Seuraavissa kappaleissa käsitelen jo toteutettuja liiketoimintamalleja loppukuluttajien kysyntäjouastoon ja pohdin mitä hyvää ja huonoa missäkin mallissa on. Samalla esittelen teoreettisia toimintamalleja, mihin suuntaan joustoliiketoiminta voi lähteä kehittymään Suomessa lähitulevaisuudessa.

Yksi tehokkaimmista malleista kysyntäjouaston edistämiseen voi olla markkinoida kysyntäjouastoa "uutena yösähköinä". Teknisestä näkökulmasta kaksiaikatariffi on melko lähellä kysyntäjouaston toiminnan periaatteita, kytkentöjä tulee vain useammin kuin nykyisessä "kaksiaikatariffissa".

3.2 Sähköenergian mittaamisen liiketoimintamalli Suomessa

Suomessa on lähdetty uudistamaan energiamittareita ensimmäisten maiden joukossa Euroopassa. Vaihtoprosessin ensimmäisiä vaiheita ja pilottiprojekteja aloitettiin jo vuoden 2000 vaiheilla. Tähän vaihtosykliin määriteltiin teknisiä ominaisuuksia, joita näiden ensimmäisen sukupolven energiamittareiden (AMR 1.0) tuli täyttää. Suuret massavaihdot AMR 1.0 mittareille suoritettiin vuosien 2009 - 2013 aikana. Mittausasetus velvoitti vaihdot tehtäviksi ennen vuoden 2013 loppua. Nykyään olemme tilanteessa, jossa AMR

1.0 energiamittareiden taloudellinen kuoletusaika alkaa olemaan loppuillaan ensimmäisten noin vuonna 2000 asennettujen energiamittareiden osalta. Nyt on viimeistään oikea aika miettiä seuraavan sukupolven (AMR 2.0) energiamittareiden minimiominaisuuksien tarpeet ja viedä uudet tekniset vaatimukset velvoittaviksi. Muun muassa tätä työtä työ- ja elinkeinoministeriö on muodostanut Älyverkkotyöryhmän tukemaan. Älyverkkotyöryhmän tavoitteena on miettiä muuttuvaa toimintaympäristöä sähkömarkkinoiden ja koko sähköliiketoiminnan kannalta.

Kuten edellä mainittiin, Suomi lähti ensimmäisten maiden joukossa Euroopassa uudistamaan etäluettavia energiamittareita. Pakottava päätös Suomen lainsäädännössä oli (66/2009) valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta, jossa asetettiin tuntimittausvelvoite. Tuntimittausvelvoite määrittelee laskutukseen käytettävien mittaustietojen perustua tuntimittaukseen ja tämän lisäksi energiamittareiden tulee olla etäluettavia. Siirtymäaika energiamittareiden uusinnalle umpeutui 2013 lopussa, jolloin kaikkien energiamittareiden Suomessa tuli täyttää tuntimittausvelvoitteen vaatimukset. Tuntimittausvaatimusta käsiteltiin kappaleessa 2.1.3. Tuntimittaus on mahdollistanut Suomessa ensimmäisenä maana Euroopassa loppukuluttajan markkinahintaisen sähkön ostamisen. [15.]

Ensimmäisen sukupolven energiamittareiden eli AMR 1.0 mittareiden ominaisuuksia määrittäessä lähdettiin liikkeelle siitä, että teknisiksi vähimmäisvaatimuksiksi määriteltiin tuntimittausvaatimus ja erillistä maksua vastaan reaaliaikainen kulutuksen seuranta. Näistä ominaisuuksista vain tuntimittausvaatimuksen mukainen pakottava ominaisuus on tullut jäädäkseen. Energiamittareiden reaaliaikainen kulutuksenseuranta ei ole saanut suurempaa suosiota. [24.]

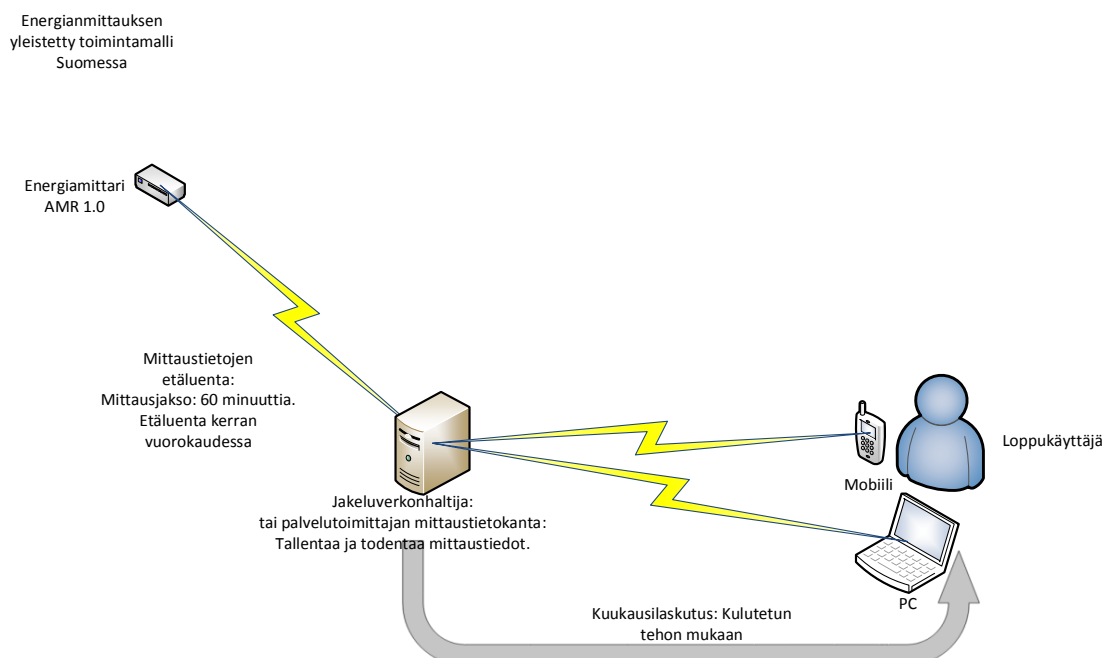
Nykyisten energiamittareiden (AMR 1.0) kustannusten kuoletusaika on noin 10 - 15 vuotta. Ensimmäiset tuntimittausvelvoitteen täyttäneet energiamittarit alkavat vanhenemaan ja seuraavan sukupolven (AMR 2.0) energiamittareiden tekniset vähimmäisvaatimukset tulee määritellä piakkoin. Ilman viranomaismäärittelyä energiamittaus ei tule kehittymään yhdenvertaisesti, mutta liian tiukalla rajaamisella tukahdutetaan markkinaehtoinen innovointi. Työ- ja elinkeinoministeriö (jäljempänä TEM) on muodostanut Älyverkko-ryhmän, jonka tehtävänä on koostaa ajatuksia ja asettaa rajauksia miten kehitystä viedään eteenpäin niin älyverkkojen kuin energiamittareidenkin osalta. Älyverkkotyöryhmän tehtävänä on esittää konkreettisia ehdotuksia kuinka älyverkot voivat jatkossa palvella

paremmin loppukuluttajia, edistää tehtasapainon hallintaa tehokkaasti ja kansantaloudellisesti. Tässä työryhmässä mietitään yhtenä kokonaisuutena energiamittareiden jatkokehitystä eli AMR 2.0 teknisiä ominaisuuksia. [24; 32.]

3.2.1 Ensimmäisen sukupolven AMR 1.0

Aiemmin työssä on todettu, että ensimmäisen sukupolven AMR 1.0 energiamittarit on uudistunut vuoden 2013 loppuun mennessä. Siirtymäajan loputtua kaikkien loppukäyttäjien energiamittarit ovat tuntimittausvelvoitteet täyttäviä. Tämä muutos harmonisoi mittauskäytännöt koko sähköverkkoliiketoiminnan pelikentällä Suomessa. Muuttunut mittausinfrastruktuuri mahdollisti yhteiset toimintatavat ja tuntihintaisen pörssisähkön ostamisen aina loppukuluttajilla asti. Ensimmäisen sukupolven aikaisimmat mallit ovat olleet käytössä jo yli 15 vuotta, joten on loogista, että näiden mittareiden ominaisuuksia tulisi kehittää.

Energiamittaaminen Suomen sähköverkossa ei rajoitu vain varsinaisen energiamittarin asennukseen ja tämän mittaamien lukemien perusteella tehtävään laskutukseen, vaan energian mittaaminen on suurempi kokonaisuus. Energiamittaamisen toimintaketjua on pyritty avaamaan alla olevassa kuviossa 4:



Kuvio 4. Nykyinen toimintamalli loppukäyttäjän energian mittaamisesta Suomessa

Jakeluverkonhaltija (jäljempänä JVH) huolehtii tuntimittauslaitteiston hankinnasta ja käyttämisestä verkkonsa alueella. Nykyään energian mittaaminen loppukäyttäjille toimii siihen tapaan, että loppukäyttäjän liittymäpisteessä on JVH:n omistama energiamittari. Energiamittari rekisteröi kulutetun pätötehon 60 minuutin keskitehoaikasarjana. Aikasarjaan tallentuu näin ollen 24 lukemaa joka päivä. Mittaustiedot siirretään etäyhteyden kautta JVH:n mittaustietojärjestelmiin, jolloin mittauslukemat todennetaan ja tarkastetaan. Työ- ja elinkeinoministeriön asetus sähkökaupassa ja sähkötoimitusten selvityksessä noudatettavasta tiedonvaihdosta (273/2016) määrittelee mittaustietojen toimituksen saapuvan JVH:n mittaustietojärjestelmiin viimeistään kello 11:00 sähkön toimitusta seuraavana päivänä. Näiden mittaustietojen perusteella JVH laskuttaa loppukäyttäjää kulutetusta pätötehosta.

Nykyinen toimintamalli on toistaiseksi vielä toimiva, mutta muuttuva toimintaympäristö sekoittaa mittausvaatimuksia. Jatkossa ei ole kovinkaan selvää, mitä kaikkia tietoja energiamittareilta tullaan tarvitsemaan ja millainen vasteaika tietojen saatavuudelle tulee olla. Alta löytyy listaus suuntauksista, jotka voivat muuttaa nykyistä energian mittaamisen - käsitettä. Tulevaisuudessa loppuasiakkaan laskutukseen käytettävä mittaustieto voi olla muutakin kuin vain pätötehon kulutusta:

- Muistikapasiteetti. Muistikapasiteetti tulee loppumaan mittausominaisuuksia muutettaessa. AMR 1.0 energiamittareiden muistikapasiteetti on hyvin rajallinen. Muistikapasiteetti mittarilla on sen verran suuri, että vuoden 2006 määritellyt vähimmäisvaatimukset täyttyvät. Jatkossa tasejakson lyheneminen ja pientuotannon lisääntyminen muodostaa lisätarvetta energiamittarin muistikapasiteetille ja sitä myöten AMR 1.0 energiamittarit jäävät historiaan
- Päivitettävyyys. AMR 1.0 energiamittareiden päivitysominaisuuksien puutteellisuus. Ensimmäisen sukupolven energiamittarit eivät ole välttämättä soveltuvia muuttamaan tasejakson pituutta tuntijaksosta lyhempään. Toisena tekijänä on etäpäivityksen puute, jolloin tasejaksoa muutettaessa asentajan tulee käydä energiamittarin luona ohjelmoimassa mittari uudelleen. Tämä taas ei ole kustannustehokasta saataviin hyötyihin verrattaessa
- Ohjauskyky ja mittaustietojen validointi. AMR 1.0 energiamittareiden ominaisuuksien puutteet. Ensimmäisen sukupolven energiamittareiden ominaisuudet ovat jääneet jälkeen kehityksestä. Kysyntäjoustossa energiamittareilta vaaditaan ohjauspotentiaalia ja jouston todentamiseen tarvittavia mittausominaisuuksia. Näitä ominaisuuksia ei voida liittää AMR 1.0 muuten kuin lisälaitteiden avulla. Lisälaitteiden liittäminen nykyiseen infraan tuo taas mukanaan uusia ongelmia.

- Väyläratkaisun puuttuminen. AMR 1.0 energiamittareiden väyläratkaisujen puutteet. Ensimmäisen sukupolven energiamittareiden reaaliaikaisten mittaustietojen siirto loppuasiakkaan käyttöön on toteutettu pulssikoskettimilla. Nykyaikainen avoin väyläratkaisu palvelee kuitenkin paremmin kulutuksen ja tuotannon seurantaan, sillä mittarilta väylän kautta saatavia tietoja voidaan päivittää etäyhteyden avulla
- Loistehon mittaaminen. AMR 1.0 energiamittareiden loistehon mittausominaisuuksien puute. Ensimmäisen sukupolven energiamittareiden mittausominaisuuksia ei ole tarkasti määritelty loistehon mittaamiselle. JVH ovat alkaneet laskea loistehoa, joten jatkossa luotettava loistehomittaus ja loistehoaikasarjojen etäluenta tulee tarpeeseen
- Huipputehon mittaaminen. AMR 1.0 energiamittareiden tehohuippujen mittausominaisuuksien puutteellisuus. Ensimmäisen sukupolven energiamittarit on suunniteltu päätötehon keskitehon mittaamiseen. Tulevaisuudessa tehotariffin ja tehohuippujen havainnointi on jatkossa tarpeellinen mittausominaisuus
- Taajuuden mittaaminen. AMR 1.0 energiamittareiden taajuuden mittausominaisuuksien puutteellisuus. Ensimmäisen sukupolven energiamittareita ei ole suunniteltu tarkkaan verkkotaajuuden mittaamiseen. Tehotasapainoa voi tehopulatilanteessa jatkossa tasapainottaa kaikilla joustopotentiaalia omaavilla kysyntäjoustoon osallistuvilla mittauspisteillä. Raja-arvojen ylitys/alitus aktivoisi taajuuden muuttuessa kaiken kysyntäjoustopotentiaalin tehotasapainon hallintaan. Tämä kuitenkin edellyttäisi AMR 1.0 energiamittareilta tarkkaa verkkotaajuuden mittausta.
- Tietoturva. AMR 1.0 energiamittareiden tietoturvan kehittyneisyys. Ensimmäisen sukupolven energiamittarit tarvitsevat jatkossa kehittyneempää tietoturvaa. Tietoturvan merkitys korostuu, mitä enemmän hyödynnettäviä ominaisuuksia tullaan hyödyntämään. Eri tietoturvatasoilla olevat laitekannat vaikeuttavat kokonaisuuden hallintaa

3.2.2 Toisen sukupolven AMR 2.0

Aiemmassa kappaleessa on todettu, että toisen sukupolven AMR 2.0 energiamittareiden vaatimusmäärittely tulee saada pikaisesti valmiiksi. Samat ongelmakohdat, jotka vievät AMR 1.0 energiamittarit historiaan ovat erityisen tarkastelun alla toisen sukupolven energiamittareiden ominaisuuksia mietittäessä. Energiamittareiden ominaisuuksista pohdit-

tavaksi jäävät ainakin seuraavat seikat: vaatimusmäärittelyn kiireellisyys, tasejakson lyheneminen, tulevaisuudessa tarvittava muistikapasiteetti, etäohjelmoitavuus, reaaliaikaisten mittaustietojen hyödyntäminen, ohjaustarpeet, avoimet väyläratkaisut, tietoturva, teho- ja taajuusmittaustarpeet yms. Aiemmin työssä on todettu, että älyverkkotyöryhmä on tekemässä työtä niin mittausominaisuuksien mietinnässä, kuin samalla koko älykkään sähköjärjestelmän muutoksen tuomien asioiden ratkaisemiseksi. Tähän aiheeseen liittyen on hyvä pohtia onko nykyinen mittausliiketoiminta kansantaloudellisesti tarpeeksi tehokasta.

Todellinen aikaraja toisen sukupolven energiamittareiden ominaisuuksien lukkoon lyömiselle on lainsäädännöllisesti vuosi 2024. Vuosiluku perustuu EU:n kustannushyötyanalyysiin, jonka mukaan isot massa-asennukset aloitettiin vuonna 2009 ja energiamittareiden hankinnan kuoletusaika on noin 15 vuotta. Käytännössä ollaan jo jäljessä aikataulua, sillä AMR 2.0 mittareiden hankinta- ja vaihtosuunnittelu aloitetaan vuosia ennen varsinaista asennustyötä. Tästä syystä minimivelvoitteet ja -ominaisuudet AMR 2.0 energiamittareilla tulee määritellä ja julkaista mitä pikimmin. [24.]

Ensimmäisen sukupolven AMR 1.0 energiamittareiden muistikapasiteetti on hyvin rajallinen. Rajallinen muistikapasiteetti ei tule tulevaisuudessa enää riittämään mittaustietojen tallennukseen lisääntyneen mittaustarpeen johdosta, kun tasejaksossa siirrytään lyhempään 15 minuutin tasejaksoon. Tämän lisäksi pientuotannon lisääntyminen ja sen tuottama teho on myös saatava mitattua, joten jatkossa enää loppukäyttäjien kulutusmittaus ei ole ainoa tarve, johon jakeluverkkoyhtiöiden on vastattava. Jatkossa tarvitaan myös tuotannon mitatut aikasarjat. Nykyinen 60 minuutin aikasarja on energiamittarin muistikapasiteetin kannalta yhtä tehokas kuin 15 minuutin tasejakson aikasarja. Käytännössä tasejakson muutos lisäsi kulutusmittauksen muistikapasiteetin tarvetta nelinkertaiseksi siitä, mitä se nykyisellään on. Tämän lisäksi vielä tuotantomittaus tuplaisi näiden aikasarjojen vaatiman muistikapasiteetin. Muistin laajentaminen tai lisääminen AMR 1.0 energiamittareihin ei ole taloudellisesti kannattavaa. [24, s. 37–40.]

Toisen sukupolven AMR 2.0 energiamittareilta voidaan vaatia koko ajan enemmän kehittyviä ominaisuuksia. Fyysiset liitännät on asennettava jo valmistusvaiheessa tuotantolaitoksessa, joten liittimiä ei voida yksinkertaisesti lähteä lisäämään jälkikäteen. Toinen puolikas energiamittareiden laajennettavuuden ja toiminnollisuuksien kehityksessä on ohjelmiston päivitettävyys. Asennuksen jälkeiset ohjelmallisesti etäyhteyden kautta tehtävät ohjelmistoparametrien muutokset säästävät kustannuksia, kun asentajaa ei tarvita

joka muutoksessa hälyttää käymään paikan päällä. Etäohjelmoitavuudella voitaisiin jatkossa muuttaa esimerkiksi tasejakson pituutta, mitattavia suureita (verkkotaajuus ja tehohuiput), väyläratkaisun ja avointen protokollien hyödyntämistä reaaliaikaisen kulutuksen ja tuotannon seurantaan muun muassa lähiverkon tai IHD (In Home Display) avulla. Etäohjelmoitavuus avaa myös väärinkäyttöön uusia ovia. Tietoturvan merkitys korostuu jatkossa, jos energiamittareista tulee responsiivisiä laitteita, joiden ominaisuuksia muuttamalla laitteisto muuttaa mittaus- tai ohjauskäytäntöjä.

Toisen sukupolven AMR 2.0 energiamittareiden ominaisuuksista tehotariffin valvonta voi tulla ajankohtaiseksi. Käytännössä tehotariffista puhutaan laskutus perusteiden muuttamisesta siten, että jatkossa laskutus perustuu huipputehoon eikä kulutetun energian määrään. Tehotariffi ottaa pohjan pois nykyisestä kulutukseen- ja tuotantoon perustuvasta laskutuksesta. Tehotariffin tulo kokonaan vallitsevaksi käytännöksi ei tule yleistymään nopeasti alalla, koska muutos on niin suuri, mutta tariffirakenteesta osa voi lähivuosina jo perustua teho-komponenttiin. Tariffi voidaan muodostaa eri painotuksilla eli täysin mahdollinen laskutusmalli on esimerkiksi 65 % pätötehon todellista kulutusta, 30 % tehohuippujen aikaista korkeampaa hinnoittelua eli tehotariffia ja 5 % loistehoa. Tehotariffia pystytään valvomaan eri ratkaisuilla. Yksinkertaisena ratkaisuna tehotariffille olisi asetella niin sanottu energiamittarin sisäinen ohjelmallinen ylivirta havainnointi (soft fuse). Näin ollen hetkellisen pätötehon noustessa liian suureksi mittari tekisi rekisteriin merkinnän, jolloin sallittu tehoraja on ylitetty. Tämä voisi taas johtaa korkeampaan hinnoitteluun tai muihin sanktioihin. Toinen ratkaisu olisi hyödyntää energiamittarin hetkellisarvoa. Energiamittarin toimintaperiaate on sellainen, että mittarin koneisto mittaa määritellyllä näytteenottotaajuudella hetkellisarvoja joiden perusteella energiamittarin rekisteriin rekisteröityy aina jonkin tasoinen keskiarvo kulutetusta pätötehosta. Tällä samalla tai vaikka monta kertaa hitaammalla näytteenottotaajuudella pystytään valvomaan tehohuippuja. Energiamittareilta saadaan jo nykyisin kaikki OBIS-koodatut mittausarvot rekistereihin tallennettuna. Tiheä hetkellisarvojen keruu ja valvonta vaatii paljon tiedonvaihtoa.

Toisen sukupolven AMR 2.0 energiamittareiden vaihtokierros on alkamassa vähitellen Suomessa. Euroopassa kaikkialla on meneillään älykkäiden energiamittareiden asennuksia. Mittalaitteiden menekki ja vahva kilpailu on painanut yksittäisten mittalaitteiden arvon alas. Mitä suuremmat volyymit on hankkia mittalaitteita, sitä suurempia massalennuksia laitteista voidaan saada. Euroopan komission kustannushyötyanalyysissä on

laskelmoitu AMR 1.0 energiamittarin kustannuksiksi 210 €, joka on noin 50 % koko energiamittarin elinkaaren kokonaiskustannuksista. Samassa taulukossa on asennuskustannuksiksi määritelty 10 - 25 %. Nykyisin asennuksen ja energiamittarin kustannukset ovat noin suhteessa 50 % - 50 %. Näin ollen fyysinen energiamittarin vaihtaminen nostaa arvoaan suhteessa energiamittarin kustannukseen. Tulevaisuudessa fyysinen energiamittarin vaihto ei suoranaisesti helpotu, sillä vaivattomin keino saada mittarinvaihdon yhteydessä loppuasiakas mukaan kysyntäjoukseen on liittää joustava kuorma energiamittarin ohjauksiin mittarinvaihdon yhteydessä. Mietinnäksi jää, onko kustannustehokkainta jakaa Suomen kokoisessa maassa energiamittareiden hankinta, asennus ja hallinta noin 80 (jakeluverkonhaltijoiden määrä Suomessa) osaan. [24, s. 38–39.]

3.3 Kysyntäjouksethankeet loppuasiakkaille Suomessa

3.3.1 Elenian ratkaisu Suomessa

Elenia on saanut merkittävää mediahuomiota kysyntäjoukon pilottihankeistaan. Useat mediat ovat ottaneet uutisekseen 30 000 kappaleen toisen sukupolven energiamittarin asennus- ja testausprojektin. Tämä projekti on ensimmäinen näin suurella volyymillä tehty kysyntäjouksethanke, jonka keskiöön loppuasiakas tuodaan. Hanke tulee luomaan suuntaviivoja tulevaisuuteen, ja mihin suuntaan älykkäät sähköverkot sekä kysyntäjoukset on etenemässä.

Lähteitä kartoittaessani en löytänyt juurikaan tekniseen toteutukseen liittyvää dokumenttia tai edes viitettä toteutuksen yksityiskohdista. Kuitenkin jotain hyödyllistä lähteistä löytyy, joiden perusteella karkeahko liiketoimintamalli kokonaisuudesta voidaan mallintaa tai ainakin olettaa. Elenian mallin teknisten yksityiskohtien puutteellisuus ei olennaisesti vaikuta työn tuloksiin, tällöin todellinen ratkaisu on vain hiukan poikkeava ratkaisu tähän työhön mallinnetusta toteutuksesta.

Faktoina pilottiprojektista tiedetään, että toisen sukupolven energiamittarit tulevat Suomalaisen Aidon mittarivalmistajalta. Myös se on varmaa, että Sonera on tiiviissä yhteistyössä edistämässä ja toteuttamassa tiedonsiirtoratkaisua projektille.

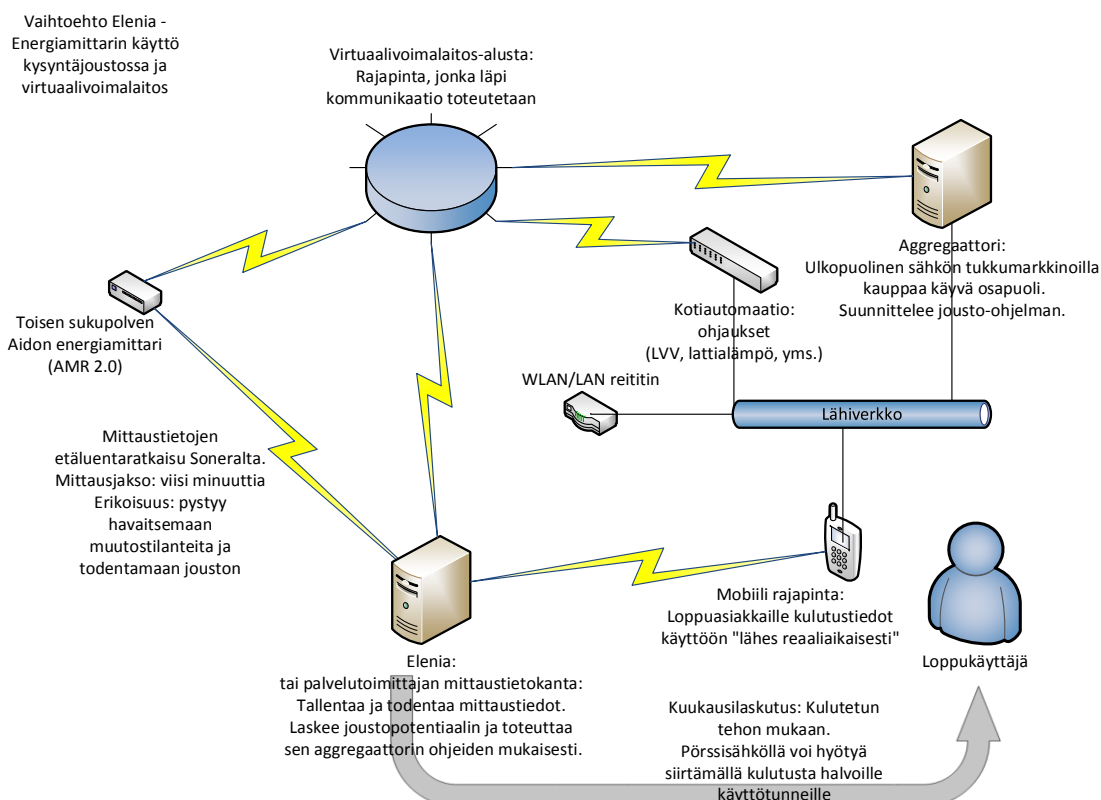
Elenian asiakasjohtaja on useissa uutisissa haastateltu tähän pilottiprojektiin liittyen. Johtopäätökset Elenian projektin toteutuksesta on tehty suoraan uutisista löytyvien lausuntojen ja kirjoitusten pohjalta:

- Kysyntäjousto vaatii aina reaaliaikaista kuormienohjausta ja menetelmää havainnoimaan kuormien muutokset. Tarkemmin muutosilmiöiden havaitsemisesta juttussa ei puhuta. Muutoksia voidaan kuitenkin havainnoida laskennallisesti, jolloin energiamittarin tulee lähettää hetkellisarvoja koko ajan taholle, joka mittausdatan analysoi. Tämä ratkaisu kasvattaa tiedonsiirtotarpeen korkealle. Toinen vaihtoehto on rakentaa energiamittariin automatiikka, johon määritellään muutosilmiön nopeus eli tässä tapauksessa pätötehon lasku/nousu aikayksikköä kohden. Tarpeeksi nopea muutosilmiö tallentaa muutoksen energiamittarin lokiin. Toisaalta väärin aseteltu muutosarvo voi tallentaa energiamittarin muistiin vääriä muutoksia esimerkiksi saunan kiukaan käynnistys/sammutus. [33; 34.]
- Loppuasiakkaalle tarjottava mittausdata tarjotaan mobiililaitteiden kautta. Loppuasiakas pystyy tällöin seuraamaan oman liittymänsä sähkönkulutusta lähes reaaliaikaisesti. Esimerkiksi mainitaan, että loppuasiakas voi nähdä mobiililaitteestaan, kun sauna laitetaan päälle. Saunan lämpeneminen voidaan loppuasiakkaiden energiakulutuksessa havaita jo nykyisellä tunnin mittausjaksollakin. Nykyään energiamittauksien tiedot tulevat loppuasiakkaiden tarkasteltavaksi sähkönkulutuksesta seuraavana päivänä ja tämä ei ainakaan ole lähes reaaliaikaista. Elenian saa näin ollen useammin mittauksia energiamittareilta kuin mitä mittausvaatimus nykyisin velvoittaa. Kulutuskäyttötymisen päivitys on aivan kriittinen seikka, miten paljon loppuasiakas sähkön kulutuksestaan kiinnostuu. [35; 36.]
- Yle uutisten artikkelissa mainitaan, että mittausjakson pituus olisi tässä pilotissa viisi minuuttia. Samaan lauseeseen Elenian asiakasjohtaja lisää, että tulevaisuudessa tuo viiden minuutin mittausjakso tulee vielä lyhenemään. [37.]
- Elenian pilotissa kysyntäjoustopäätösten sähkönkulutuksen ohjaukset hoitaa kotiautomaatio. Tämä poistaa energiamittareilta tarpeen olla reagoimatta nopeisiin ohjauksikäskyihin. Tarkemmin en osaa sanoa, miten ohjaus on käytännössä toteutettu, ja onko täysin selvää, että kaikki muut kuin pakolliset ohjaustarpeet energiamittareiden osalta jätetään pois. Ohjaukset voivat tulla suoraan kotiautomaatiolta erillisen tiedonsiirtoyhteyden avulla tai vaihtoehtoisesti energiamittarin kautta. [34.]
- Pilottiprojekti on suunnattu kaikille loppukäyttäjille, joista erityismaininnan saa sähkölämmittäjät. Sähkölämmittäjillä on suurin joustopotentiaali käytettävissään,

joten heidän järjestelmiin kannattaa erityisesti keskittyä. Pilotti jatkuu vuoteen 2020 asti, jolloin kaikki 30 000 kappaletta toisen sukupolven energiamittaria on asennettu ja käytössä. [34.]

- Loppuasiakkaiden sitouttaminen ja palkitseminen joustosta pyörii vihreiden arvojen korostuksen ympärillä. Loppuasiakas toiminnallaan edesauttaa pääsemään lähemmäs vihreämpää ja vähän päästöttömämpää sähköjärjestelmää. Tämän lisäksi asiakkaille tarjotaan lähes reaaliaikainen kulutustieto kuluttamastaan sähköstä. [37; 38.]

Näiden oletusten perusteella alla olevassa kuviossa 5 näkyy mahdollinen Elenian liiketoimintamalli kysyntäjoustoon ja virtuaalivoimalaitoksen hyödyntämiseen. Uutislähteiden lisäksi tätä liiketoimintamallia muokkaavat ne seikat, joista olen aiemmin työssäni puhunut.



Kuvio 5. Elenian pilottiprojektin liiketoimintamalli

3.3.2 Fortum Spring

Fortum on lähtenyt kysyntäjoustohankkeeseensa aivan eri lähtökohdista kuin Elenia. Fortumin Spring pilottiprojektin ensimmäinen vaihe oli suppeampi kokeilu kuin Elenian pilottiprojekti. Toisessa vaiheessa mukaan otettiin 1000 loppukuluttajaa lisää. Liiketoimintamallit eroavat hyvinkin paljon toisistaan, mutta kummatkin mallit ovat teoriassa täysin toimivia ja niillä myös tavoitellaan erilaisia lopputuloksia. Fortum Spring -projektissa energiamittari ei näyttele mitään roolia kysyntäjoustoprojektin toteuttajana. Tätä kokonaisuutta kutsutaan virtuaalivoimalaitokseksi. Kappaleen lopussa on kuva yksinkertaistetusta liiketoimintamallista.

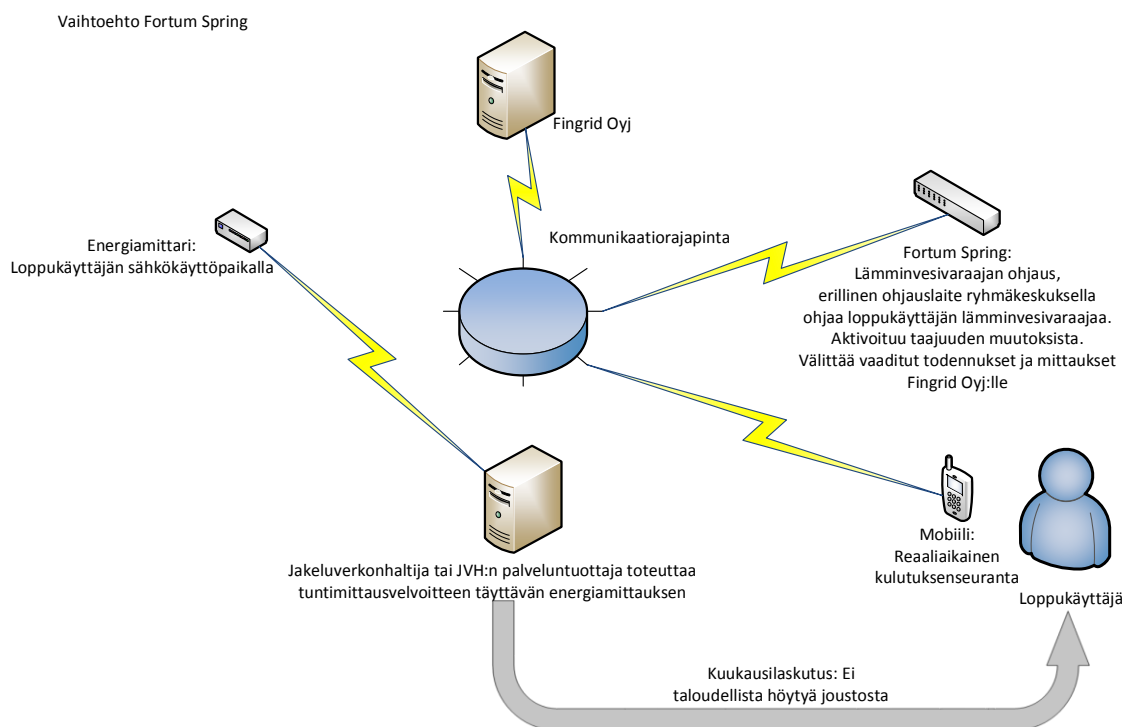
Fortumin Spring projektin suuruusluokka oli sellainen, että ensimmäisessä vaiheessa loppuasiakkaiden lämminvesivaraajia virtuaalivoimalaitoksessa oli noin 70 kappaletta. Projektin toisessa vaiheessa mukaan haettiin 1000 halukasta lisää osallistumaan Spring -projektiin. Pilotin joustopotentiali oli ensimmäisessä vaiheessa yhteensä noin 100 kW ja tarkoituksena on osallistua reservimarkkinoilla taajuusohjattuun käyttöreserviin (FCR-N). Tämä reservilaji aktivoituu heti, kun verkkotaajuus laskee alle 49,90 Hz tai nousee yli 50,10 Hz. Lisätietoa löytyy reservimarkkinoita käsittelevästä kappaleesta 2.3.2. Aktivointumisia voi siis tulla useitakin päivässä. [41.]

Fortumin virtuaalivoimalaitoksen jousto tulee siis loppuasiakkaiden lämminvesivaraajiin asennettavista erillislaitteista. Erillislaitteet ovat irrallisia muusta mittauskokonaisuudesta. Ylen uutisessa mainitaan, että Fortumin Spring -projektin reagointikyky on muutama sekunti. Näin nopea vasteaika on suhteellisen vaikeaa saavuttaa ohjauksen tullessa energiamittarin kautta. [39.]

Fortum tarjoaa osallistujille hiukan muutakin kuin vihreitä arvoja. Fortum Spring kokeiluun osallistuneet asiakkaat saavat IHD eli in home display niin sanottu kotinäytön käyttöönsä. Tällä näyttöpäätteellä saa tarkkaa tietoa energiankulutuksestaan, joka tuo lisäarvoa loppuasiakkaan energiakäyttämiseen. Tämän lisäksi loppuasiakas edesauttaa toiminnallaan kulkua kohti vähäpäästöisempää sähköjärjestelmää.

Poikkeukseksi Elenian tapaukseen Fortumin jousto-pilotissa ei ole kauppaa käymässä ulkopuolinen aggregaattori, joskin sen lisääminen kuvioon ei tuota juurikaan ongelmia. Tämän lisäksi energiamittari ei itsessään osallistu tähän liiketoimintamalliin millään tavoin. Pilottiprojekti eli ensimmäinen vaihe Fortum Spring-projektista on saatu maaliin

2017 kesällä. Alla kuvassa 6 on Fortum Spring-projektin mahdollinen liiketoimintamalli. Malli on koottu uutisista ja julkisista lähteistä saatavien tietojen pohjalta. Tämän jälkeen mallia on pelkistetty, jonka jälkeen saatiin lopullinen liiketoimintamalli. [39; 40; 41.]



Kuvio 6. Fortum Spring liiketoimintamalli

3.4 Energiamittareiden ja muiden tietolähteiden hyödyntäminen

Kysyntäjoustopon liiketoimintamallien luonnoksia lähden rakentamaan siten, että erottelen sähköenergiamittarin kautta tapahtuvat ohjausmahdollisuudet muista ohjausmahdollisuuksista. Jokaista toiminnollisuutta käsitellessäni erotan sähköenergiamittarin kautta tapahtuvan toiminnan ulkopuolisen ohjauslaitteen toiminnollisuudesta. Lopuksi vertailen toimintoja keskenään. Tämän jälkeen tutkin alalla yleisesti tiedossa olevia kipukohtia kysyntäjoustopon edistämisessä, kuten tietoliikenteen tietoturva, ohjauskomentojen vasteajat ja luotettavuus, sekä joustontodentamisen ongelmat.

On olemassa rajallinen määrä toteutusvaihtoehtoja, joilla kysyntäjoustopon vaatimat ohjaukset voidaan edes teoriassa toteuttaa. Alla näkyvässä kuvassa 7. on esitelty ohjausmahdollisuudet kysyntäjoustopon. Kuvassa on eritelty tapaukset A - E, jotka käydään tarkemmin läpi seuraavaksi:

Vaihtoehdot A ja B ovat suoraan sähköenergiamittarin kautta ohjattavia.

- A. Suora ohjaus mittarilta. A. Vaihtoehto A on tilanne, jossa sähköenergiamittarin kautta lähetetään ohjaustieto suoraan ohjattavalle kuormalle.
- B. Välillinen ohjaus mittarilta. B. Vaihtoehto B on tilanne, jossa sähköenergiamittarin kautta lähetetään ohjaustieto suoraan ohjattavan kuorman automaatiojärjestelmään tai tämän ohjausjärjestelmään.

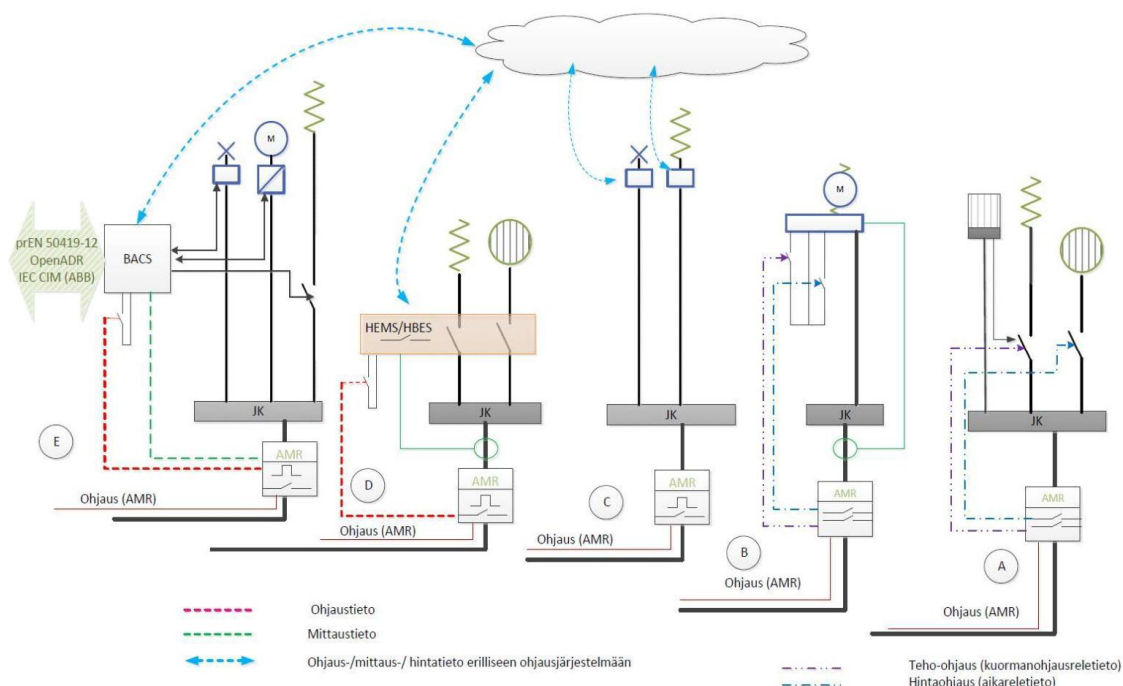
Vaihtoehdot C ja D voivat toimia täysin irrallisina sähköenergiamittarista

- C. Ulkopuolinen suora ohjaus. C. Vaihtoehto C on tilanne, jossa ohjaustieto lähetetään suoraan ohjattavalle kuormalle. Kuormanohjaukseen ei tarvita mitään toiminnollisuutta sähköenergiamittarilta.
- D. Ulkopuolinen välillinen ohjaus. D. Vaihtoehto D on tilanne, jossa ohjaustieto lähetetään suoraan ohjattavan kuorman ohjausjärjestelmään. Ohjaustieto voi myös tulla sähköenergiamittarin kautta.

Vaihtoehto E on hybridimalli

- E. Responsiivinen hybridimalli. E. Vaihtoehto E voi olla erillään tai se voi toimia sähköenergiamittarin kautta lähetettävien ohjaus- ja mittaustietojen pohjalta. Ohjaustieto lähetetään sähkö- tai tiedonsiirtoverkon kautta suoraan tai sähköenergiamittarin kautta ohjattavalle kuormalle tai kiinteistöautomaatiojärjestelmälle.

[19, s. 19–20.]



Kuvio 7. Ohjaustiedon kysyntäjoukon hyödyntämisessä loppuasiakkaan tarpeisiin [19, s. 20]

Käytännön ohjaukset loppuasiakkaille voidaan suorittaa muutamalla eri keinolla. Keskiössä eri ratkaisuihin on jo valmiin infran hyödyntäminen. Ratkaisuehdotuksissa pyritään hyödyntämään energiamittareiden mittaus- ja ohjaustietoja sekä suoraa ohjausta IOE-periaatteiden mukaan (information over ethernet). IOE-ratkaisujen ongelmana on kuitenkin ratkaisujen heikko tietoturva. Ohjaukset viedään joko suoraan ohjattavalle kuormalle tai keskitetysti kotiautomaatiojärjestelmään. Näistä palasista muodostuu nykyisten energiamittareiden ohjauspotentiaali. Päällimmäisenä ongelmana energiamittareiden ohjausratkaisujen hyödyntämisessä on ohjauksen vasteaikoja hitaus. Nykyisillä tiedonsiirtoratkaisuilla ei voida osallistua monille markkinapaikoille juuri hitaan ohjauksen takia. Tarkemmin tulevaisuuden ohjausmahdollisuuksien kehittymistä tässä kappaleessa ei ole pohdittu, mutta uudet langattomat HAN-ratkaisut (Home area network) voivat tuoda mukanaan niin joustavuutta ohjauksiin kuin varmempaa tietoturvallisuutta.

Tietoturvan merkitys yhteiskunnassamme kasvaa päivä päivältä. Tietoturva koostuu sähköenergian mittausprosessissa henkilöturvallisuudesta, tietoaineistoturvallisuudesta (varmuuskopiointi), tietoliikenneturvallisuudesta ja käyttöturvallisuudesta (haittaohjelmilta suojautumiselta). Näistä tietoturvan osa-alueista keskityn tutkimuksessani vain tietoliikenneturvallisuuteen. Tietoliikenteen turvallisuus on keskiössä kysyntäjoustopuolella asiakkaille. Huonosti hoidettu tietoturva voi mahdollistaa kytkentöjen väärinkäytön sekä mittauksien vuotamisen väärille tahoille.

VTT:n tutkimuksessa AMM Tietoturvallisuus otetaan laajasti kantaa sähköenergiamittareiden tietoturvallisuuteen. Raportti nostaa esiin uhkia, joita huonot tietoturvakäytännöt voivat mahdollistaa. Uhkina raportissa nähdään mittauksien vuotaminen väärille osapuolille, mittauksien kulutusprofiilien seuraaminen rikollisiin tarkoituksiin sekä mittauksien manipulointi mittarin mittaushajontaa muuttamalla. Näistä uhkista mikään ei ole kuitenkaan konkretisoitunut vielä julkisesti. Toisen sukupolven energiamittareiden laajentuvien rajapintojen, etäohjelmointi käytäntöjen sekä kysyntäjoustopuolella ohjausmahdollisuuksien lisääntymisen myötä tietoturvan merkitys tulee korostumaan. Asiakkaiden luottamus katoaa hetkessä, jos jousto-ohjausta pystytään käyttämään väärin tarkoituksiin. Teoreettisella tasolla tietoturvan pettäessä hakkereilla on mahdollisuus käyttää kysyntäjoustopuolella väärin tarkoituksiin ja kytkeä kaikki kytkettävissä olevat kuormat verkkoon kaikkein kalleimmilla sähkökäyttötunneilla. Tämä voi muodostaa sähkökäyttäjälle jo taloudellisia menetyksiä. Olkoon kyseessä energiamittarin tai ulkoisen laitteen kautta tehtävä jousto, niin kummankin tietoturva tulee olla asianmukaisesti suojattu yhtä suurella prioriteetilla. [42.]

Energiamittaustietojen tietoturva on Suomessa hyvällä tasolla. Suomi oli ensimmäisiä maita Euroopassa vaihtamassa energiamittareita ensimmäisen sukupolven älymittareihin. Ensimmäisen sukupolven älymittareiden tietoturva oli mietitty ja se on ollut toimiva. Nyt energiamittareiden toiseen sukupolveen siirryttäessä eteenkin tietoturvan merkitys korostuu. Kiristyneet tietoturvavaatimukset tulee lyödä lukkoon samalla aikataululla kuin mittausasetusta muutokset. Toisen sukupolven energiamittareiden tiedonvaihto jakeluverkonhaltijan, aggregaattorin, virtuaalivoimalaitos-alustan tai vaikka kotiautomaation kanssa tulee lisääntymään. Lisääntyvä tietomäärä tarkoittaa lisää mahdollisuuksia, jossa tietoturvaratkaisut pettävät. Ohjauspotentiaali niin energiamittareissa kuin ulkoisissa laitteissa tuo tietoturvan merkityksen uusiin lukemiin, sillä vääristyneellä ohjauksella voi loppuasiakkaan elämänlaatu alkaa kärsiä. [42.]

Kysyntäjoustopuoleen ja ylipäänsä sähköenergiamittareiden laskutusmittauslukemien luotettavuusketjuneheys on mittaustarkkuuden ja täsmällisten laskutuslukemien avaintekijöitä. Energiamittareiden laskutuslukemien tietojeneheys on varmistettu energiamittareiden ominaisuuksien rajoituksella ja soveltaen näihin valmistettuja energiamittareiden mittalaitteistandardeihin. Tämän lisäksi jokainen mittauslukema mitataan ennalta määritellyn tarkkuusluokan mukaisella mittalaitteella, jolla päästään tarpeeksi laadukkaaseen mittaustarkkuuteen. Mittalaitteiden omistaja- ja hallintarajaukset on ennalta määriteltä mittausasetuksessa. Näiden kaikkien osa-alueiden yhteissummana on alalle kehittynyt luotettava laskutuskäytäntö. Näiden kaikkien ominaisuuksien lisäksi varsinaisena ongelmana energiamittaustietojen hyödyntämistä kysyntäjoustopuoleen tarpeisiin rajoittaa lähtökohteisesti se, että energiamittareiden mittausjakso on aivan liian suuri kysyntäjoustopuolen hyödyntämiseen. [43.]

Kaikki loppuasiakkaiden laskutukseen käytettävät sähköenergiamittarit ovat jonkun sähkökaupan osapuolen hallinnassa. Osapuolina voi olla sähkönsiirrosta vastaava verkkoyhtiö, jonka sähkönsiirtoverkon alueella laskutusmittaus sijaitsee tai sähköverkkoyhtiön palvelusopimuskumppani. Mittausasetus velvoittaa laskutusmittausten olevan tällä tavoin järjestetty. Tämä luo luotettavan toimintaympäristön sähköenergiamittareiden laskutuskäytäntöihin. [15.]

Sähköenergiamittareiden laskutusmittaustietojeneheyttä valvotaan koko ajan. Sähköenergiamittareiden jokainen mittaustieto saa statusmerkinnän, joka kertoo onko kysei-

nen mittaustieto luotettava. Statustietoja mittauslukemille tulee jokaiselle mitatulle ajanjaksolle oma ja jokainen pienikin häiriö mittauksessa muuttaa mittauslukeman statustiedon epävarmaksi. Näin ollen laskutustiedon eheyttä pystytään jo hyvinkin nopealla tarkastelulla toteamaan tiedot laskutuskelpoisiksi. [43, s. 29–30.]

Sähköenergiamittareiden laskutusmittauslukemat ovat tällä hetkellä niin sanottuja tuntiaikasarjoja. Tuntiaikasarjat ovat 60 minuutin mittaisia ajanjaksoja. Nämä aikasarjat rekisteröityvät energiamittarin muistiin jokaisen päättävän tunnin jälkeen. Energiamittari mittaa tunnin aikana kulutetun sähkötehon ja merkitsee sen rekisteriin. Jatkossa tuntiaikasarja on muuttumassa 15 minuutin aikasarjaksi, mutta käytännöt näiden mittauslukemien kanssa säilyvät samoina. Kysyntäjoustossa kannalta mittausjakson pituus vaihtelee ja tarkasteltaessa eri sähkömarkkinapaikkojen ominaisuuksien vaatimuksia tuo 15 minuutin tasejakso/mittausjakso ei tule riittämään jouston hyödyntämiseen.

Alalla puhutaan "reaaliaikaisesta" ja "lähes reaaliaikaisesta" mittaamisesta. Tämä voi tarkoittaa käytännössä eri toiminnollisuuksia sähköenergiamittarista. Reaaliaikaisia mittauslukemia ei tallenneta mittalaitteen rekisteriin, vaan esimerkiksi tuntiaikasarja on kumulatiivinen mittauslukema yksittäisten reaaliaikaisten mittauspisteiden summasta tunnin ajanjaksolla. Reaaliaikaista mittaustietoa ei tallenneta energiamittarin muistiin, sillä energiamittarin muistikapasiteetti ei riitä tällaisen datan varastointiin. Mitä dynaamisemmaksi sähköenergiamittareiden mittausjakso asetetaan, sitä suuremmaksi kasvaa mittauslukemien tiedonvaihdon tarve. Nykyinen EDIEL-sanomamuodon datamäärä ei pienene merkittävästi, vaikka mittausjakson pituus puolittuu. Tämä taas vaikuttaa siihen, että energiamittareiden mittausvaatimuksen mukainen tiedonsiirron määrä moninkertaistuu tasejakson lyhentyessä. Datamäärän noustessa myös tiedonsiirron kustannukset oletettavasti nousevat.

Mittausasetuksesta löytyy vaatimus, joka määrittelee energiamittareiden pystyvän tarjoamaan reaaliaikaista sähkönkulutustietoa loppuasiakaan sähkön kulutuksen seuranta varten. Tämä reaaliaikainen kulutuksenseuranta on ensimmäisen sukupolven energiamittareissa toteutettu siten, että energiamittareilta on edellytetty niin sanotut pulssikoskettimet reaaliaikaisen kulutuksen seuranta varten. Energiamittareiden pulssikoskettimia hyödynnetään hyvin vähän, sillä pulssimuotoinen lähtö on vanhempaa tekniikkaa ja sen epätarkkuus voi olla suurikin, jos asiakkaan kulutus on hyvin pientä tai suurta. Käytännössä pulssitieto on koskettimen liike energiamittarissa, joka viestittää että mitta-

rissa kulkeva määrä tehoa on siirtynyt, jolloin tulee pulssi. Pulssitiedon (jäljempänä puls-sivakion) ollessa liian suureksi määritelty tarkoittaa se sitä, että voi mennä pitkäänkin ennen kuin pulssikosketin toimii, tämä näkyy mahdollisessa seurantajärjestelmässä isompana piikkinä siinä ajanhetkessä, kun kosketin käy. Toinen vaihtoehto on se, että pulssivakio on määritelty liian pieneksi jolloin pulsseja voi tulla niin tiuhaan, että mittaus-tietoja vastaanottava järjestelmä ei pysty seuraamaan monta pulssia energiamittari yritti lähettää. [15; 43, s. 19.]

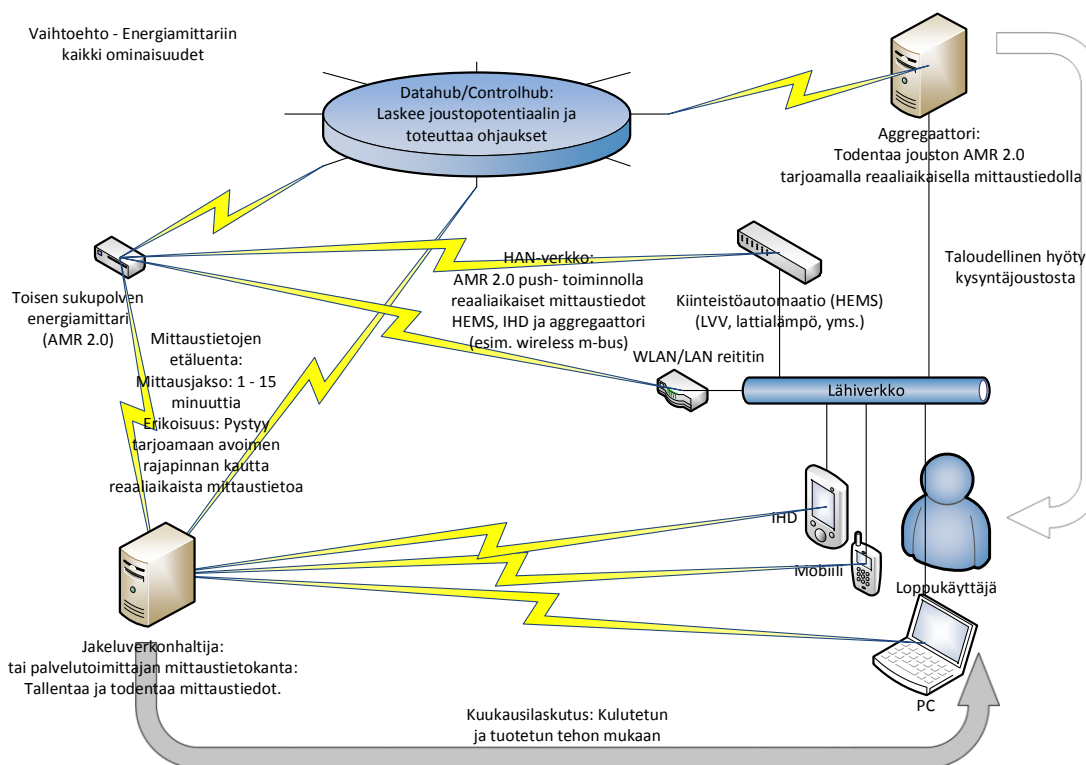
Ongelmana reaaliaikaisten mittaustietojen välittämisessä energiamittarilta seuraavaan järjestelmään on se, että ei ole standardoitu tiedonsiirtoprotokollaa, joka on avoin ja yh-teensopiva kaikkien laitteiden ja järjestelmien kanssa. Mittalaittevalmistajasta riippumat-tomia protokollia ovat muun muassa Zigbee ja M-bus. Jo vuonna 2010 on julkaistu tutki-mus eri tiedonsiirtoprotokollien hyödyntämisestä kysyntäjoustopuolella. Lähtökohtana tässä tutkimuksessa oli keskittyä kodin sisäisten tiedonsiirtoverkkoratkaisuihin (HAN = Home Area Network) ja kaiken tiedonsiirron tuli liikkua energiamittarin kautta. Tutkimus esitte-lee nykyäänkin vielä potentiaaliset tiedonsiirtoprotokollat ja näiden ratkaisevat ominai-suudet. Mielenkiintoisena nostona tutkimuksessa esitellään vain suppeasti Euroopassa enemmän käytössä oleva Langaton M-Bus protokolla. [43, s. 19.]

Ennalta määritelty avoin ja ilmainen tiedonsiirtoprotokolla ja tämän langaton tiedonsiirto-ratkaisu voi olla tulevaisuudessa energiamittarin hyödynnettävissä. Langaton tiedonsiirto energiamittarilta HAN-verkon kautta HEMS-järjestelmään (kotiautomaatio-järjestelmä) voisi ratkaista kysyntäjoustopuolella avoimia kysymyksiä. Näin ollen automaatiojärjestelmään voitaisiin olla yhteydessä esim. aggregaattorin tai muun kolmannen osapuolen osalta. Energiamittari voisi tarjota automaatiojärjestelmälle luotettavat reaaliaikaiset mittaustie-dot HAN-verkon kautta ja automaatiojärjestelmä voisi tallentaa sekä toimittaa eteenpäin joustopuolelle tarvittavat mittaustiedot niitä tarvitseville osapuolille. [44.]

3.4.1 Energiamittari keskiössä

Energiamittari on lähes aina ollut laskutustiedon perustana loppuasiakkaille. Tulevaisuu-
dessa tuo samainen energiamittari voi olla myös täysin hyödynnettävissä oleva ohjauk-
seen, joustopuolelle ja tiedon tarjontaan käytettävä laite. Energiamittareiden ominaisuuksien
kehittyessä loppuasiakas voi tulevaisuudessa saada muun muassa rahallista hyötyä
osallistumalla kysyntäjoustopuolelle. Älykäs sähköverkko ja älykkäät verkkoratkaisut lisäävät
energiamittarin mittaustarpeita. Pientuotanto, tasejakson lyheneminen, kysyntäjoustopuolelle

todentaminen ja hajautettu tuotanto, kaikki nämä lisäävät osaltaan tarpeita energiamittarin ominaisuuksiin. Toisen sukupolven energiamittareiden vaatimusmäärittely on käynnissä ja nyt muokataan näkemyksiä seuraavalle energiamittarikaudelle (15 vuotta käyttöaika). Alla näkyvässä kuviossa 8 on esitetty näkemys, millainen toimintaympäristö seuraavan sukupolven energiamittarille on mahdollisesti muokkautumassa. Näkemys on tehty siltä pohjalta, että energiamittari ratkaisee kaikki tulevaisuuden ongelmat.

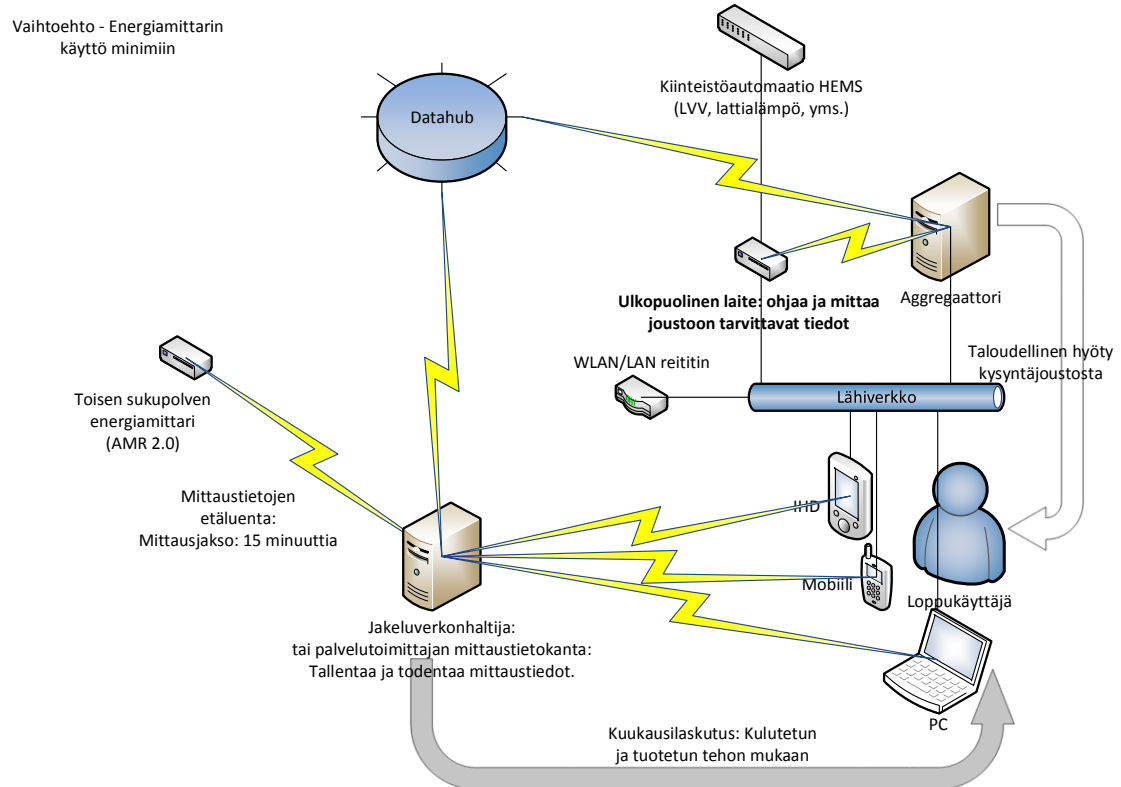


Kuvio 8. Energiamittari kaikilla ominaisuuksilla

3.4.2 Ulkopuolinen tietolähde keskiössä

Aiemmin työssä käytiin läpi Fortum Spring -kysyntäjoustohanke. Tuota projektia tutkittaessa kävi ilmi, että kysyntäjousto voidaan tehdä ihan muilla ratkaisuilla kuin energiamittarin kautta. Ulkopuoliset ohjaus- ja mittauslaitteet ovat ihan yhtä hyvä kehityssuunta kysyntäjouston edistämiseksi, kuin energiamittarin kautta tehtävät toimet. Ongelmina ulkopuolisiin ratkaisuihin tulee mittaustietojen luotettavuuden arviointi, tiedonsiirtoratkaisujen tietoturva ja suurempi räätälöintiaste, kun toimintatapoja ei ole vielä valmiina. Hyvinä puolina taas kehitykselle on tiedonsiirron nopeus ja halpuus, markkinaehtoisuuden kehityksen mahdollisuudet ja riippumattomuus vanhemmista järjestelmistä ja toteutuksista. Mielenkiintoisen lisän tuo muuttuvaan toimintaympäristöön suurien teknologia-yritysten

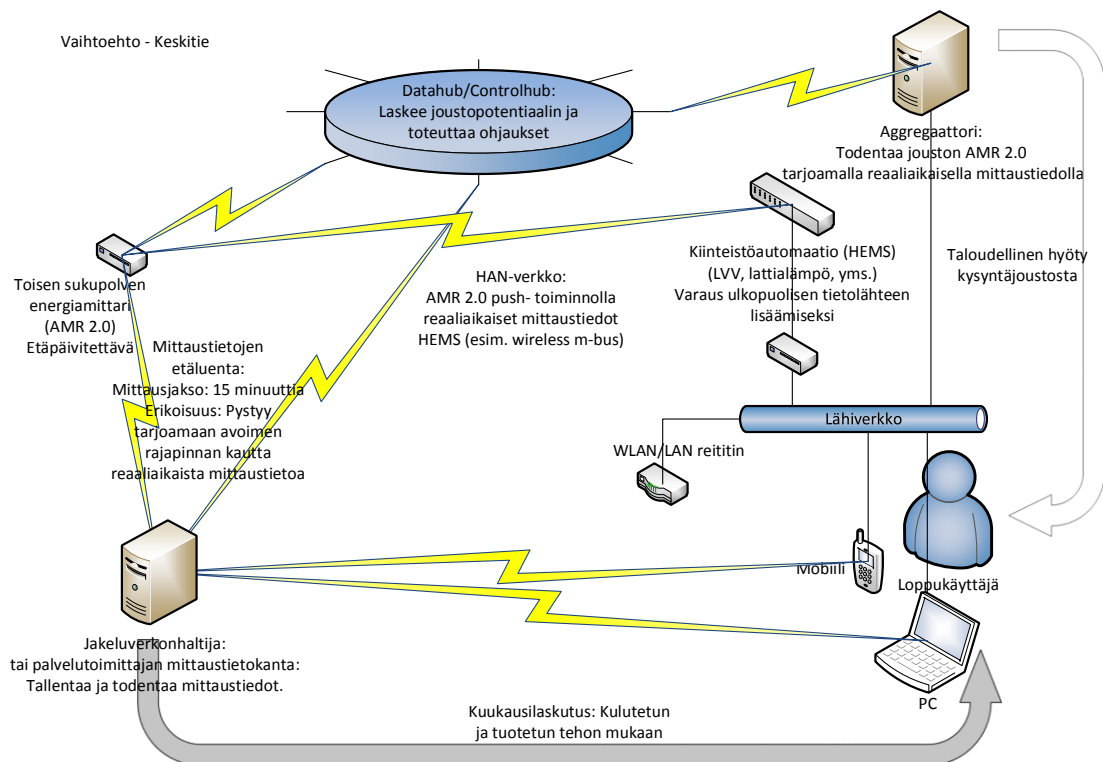
(google ja amazon) tekoälylaitteet, joiden kautta voidaan jo nykyisin ohjaamaan etänä muun muassa termostaatteja ja pistorasioita. Tästä pisteestä jouston toteuttajiksi ei näiden yhtiöiden kehitystahdilla mene kauaa. Alapuoalla oleva kuvio 9 esittää, millainen joustonmalli näin toteutuisi:



Kuvio 9. Ulkopuolinen tietolähde keskiössä

3.4.3 Keskitie kysyntäjouston edistämiseen

Energiamittariin ei kannata laittaa kaikkia mahdollisia ominaisuuksia, jos tarkastellaan kysyntäjouston edistämistä taloudelliselta näkökulmalta. Energiamittareiden tekninen ja taloudellinen elinikä on rajallinen ja kehitys menee sen verran eteenpäin, että emme näe mitä ominaisuuksia energiamittareihin olisi tullut sisällyttää kymmenen vuoden päästä. Kehitystä on vietävä eteenpäin ja minimiominaisuudet toisen sukupolven energiamittareille on asetettava. Ulkopuoliset tietolähteet voivat vallata kysyntäjoustopelikentän lyhyessä ajassa, jos vaan kannusteet sille löytyvät. Seuraavassa kuviossa 10 on ratkaisu, joka on työni mukaan teknistaloudellisesti kokonaisvaltaisesti järkevä ratkaisu tulevaisuuden kysyntäjouston toteutukselle toisen sukupolven energiamittaria hyödyntäen.



Kuvio 10. Keskite kysyntäjouston edistämiseen

4 Työn tulokset

Energiamittari on luonteva alusta lähtee kehittämään kysyntäjoustop ongelmiin ratkaisuja. Ongelmat kysyntäjoustopissa pyörivät vahvasti mittaamisen, todentamisen ja vastaikojen ympärillä. Luontevinta on ajatella energiamittaria tiedon lähteenä ja ratkaisuna. Tämä ei kuitenkaan välttämättä ole oikea suunta lähtee ratkomaan ongelmaa. Energiamittareita ja sen toiminnollisuuksia valvotaan tarkasti, mikä osaltaan lisää mittaustietojen luotettavuutta, mutta samalla rajoittaa sen kehitysmahdollisuuksia. Ulkoiset tietolähteet kuten Fortum Spring-projektissa käytettävä laite voi toimia vapaasti, sitä voidaan kehittää ja päivittää vastaamaan paremmin tarkoitustaan. Energiamittareissa tulee aina olemaan pakolliseksi vaaditut toiminnot sen mukaan, mitä standardit ja asetukset vaativat. Asetuksia ei voi lähtee kiertämään tai muuttamaan ja tämä taas jarruttaa energiamittareiden kehittymistä markkinaehtoisesti.

Seuraavassa taulukossa (taulukko 3 - Yhteenveto) työni esittelee yhteenvedon kappaleen 3.4 mallitapausten positiivisista ja negatiivisista vaikutuksista. Yhteenveto taulukko ottaa kantaa mitä etuja ja haittoja eri malleilla on. Eri mallit pyrkivät pääsemään eri lopputuloksiin ja taulukostakin käy ilmi, että eri toteutuksilla on hyviä sekä huonoja ominaisuuksia. Kuitenkin kaikista vertailtavissa olevista malleista vain 2/3 on toteutettu pilotti-projektin muodossa.

Taulukko 3. Yhteenveto

Vaihtoehdot:	Positiivista:	Negatiivista:
Energiamittariin kaikki ominaisuudet	Pidempi tekninen ja taloudellinen käyttöikä	Energiamittari on kallis
	Integroidut laiteratkaisut mitättömiä	Rajoittaa uusien toimijoiden tuloa sähköliiketoimintaan
	Soveltuva ennalta määritelty rajapinta tiedonvaihtoon	Tiedonvaihdon volyymit ja näin ollen kustannukset nousevat voimakkaasti
	Tietoturvaratkaisut helpompia hallita	Mittareissa liikaa ominaisuuksia suhteessa hyödynnettävyyteen
	Mittaustiedot luotettavia	Loppuasiakkaat eriarvoisessa asemassa. Kaikkia ominaisuuksia ei voida hyödyntää(kerros- ja rivitalot)
Ulkopuolinen tietolähde keskiössä	Kannustaa uusien toimijoiden tuloa sähköliiketoimintaan	Järjestelmien yhteensopivuus vaikeaa
	Tiedonvaihdon ratkaisut kevyempiä ja kustannustehokkaampia	Useita rinnakkaisia integroituja ratkaisuja
	Loppuasiakkaille suoraan räätälöityjä toteutuksia	Tietoturva on haasteellista hallita
	Ulkopuolisten tietolähteiden kehityspotentiaali on valtava	Mittaustietojen luotettavuus kyseenalaista
	Energiamittarin uusintakustannukset	Laitteiden määrä kasvaa
Keskittie kysyntäjoustopon edistämiseen	Kokonaistaloudellinen optimi	Varautuu ominaisuuksiltaan vain siihen maailmaan ja sen ongelmiin, mitä nyt havaitaan
	Mahdollistaa ja jopa kannustaa uusien toimijoiden tulon sähköliiketoimintaan	Loppuasiakkaat eriarvoisessa asemassa. Kaikkia ominaisuuksia ei voida hyödyntää(kerros- ja rivitalot)
	Hyödynnetään tehokkaasti olemassaolevaa laitekantaa ja sen ominaisuuksia	Loppuasiakas tarvitsee useita mahdollisesti jo omistamiaan järjestelmiä täysmääräiseen hyödyntämiseen (HEMS, HAN, WLAN)
	Tietoturva helpompi hallita	
	Mittaustiedot luotettavia	
	Soveltuva ennalta määritelty rajapinta	

Kysyntäjoustopon toteutukselle ei ole oikeaa vastausta. On olemassa taloudellisesti kalliimpia ja edullisempia ratkaisuja. On myös olemassa vaikeammin ja helpommin toteutettavia ratkaisuja. Jokaiselle ratkaisulle ja päätökselle on aina kääntöpuoli ja näiden välissä on olemassa hyvä ratkaisu. Ratkaisujen hyvyttä kuvaa se, miten paljon uusia toimijoita markkinoille saadaan ja miten mahdollistetaan uudet liiketoimintamahdollisuudet. Mitä enemmän kilpailua kysyntäjoustopon markkinoille saadaan, sitä enemmän loppukuluttaja tilanteesta hyötyy.

Työn alussa määrittelin seuraavat tutkimuskysymykset työlleni. Vastaan tutkimuskysymykseen tarkemmin jokaisen kysymyksen alle:

- Onko jakeluverkkoyhtiön laskutukseen käytettävä sähköenergiamittari oikea laite loppuasiakkaiden kysyntäjouaston ohjaamiselle?

Kysymyksen asettelu vaatii hieman tarkentamista. Kysyntäjousto pitää käsitteenä sisälleen kaksiaikatariffin eli yö- ja päiväsaikkon. Tällä perusteella suuri osa suomalaisista sähkölämmittäjiä loppuasiakkaista ovat jo alkeellisen kysyntäjouaston hyödyntäjiä. Näin ollen energiamittari on siihen soveltuva laite.

Nykyaikaisen kysyntäjouaston tuominen loppuasiakkaille on erilainen tapaus verrattuna kaksiaikatariffiin. Paljon riippuu siitä, mitä kysyntäjoustolta haetaan, ja mihin markkinapaikalle pyritään osallistumaan. Tuntimarkkinoille osallistuminen onnistuu vielä suhteellisen vaivattomasti energiamittarin ohjauksen avulla. Pääperiaatteena on se, että energiamittareille voidaan edellisenä yönä suhteessa kulutusajankohtaan määritellä seuraavan päivän kulutusohjelman. Näin ollen loppuasiakas voisi määritellä itse tai automaatio voisi muodostaa automaattisen kulutusohjelman seuraavan päivän halvoille tunneille.

Kysyntäjouaston liittäminen reservimarkkinoille energiamittarin kautta on nykyisillä tiedon siirtomenetelmillä vaikeaa ja epäluotettavaa, koska vasteajat ohjauksille voi helposti venyä pidemmiksi, mitä markkinapaikan tekniset vähimmäisvaatimukset määrittelevät. Vasteaikoja voidaan pienentää liittämällä energiamittari loppuasiakkaan lähiverkkoon, mutta tällöin energiamittari altistetaan tietoturvauhille.

- Millainen on tulevaisuuden liiketoimintamalli kysyntäjoustossa energiamittarin osalta?

Tulevaisuudessa liiketoimintamallit muokkautuvat ja mitään yleismallia on vaikea määrittää. Trendeinä tulevaisuudessa näen, että energiamittari tulee jatkossakin mittaamaan sähköön kulutusta ja uutena sähköön tuotantoa pientuotannon lisääntyessä loppuasiakkaan liittymäpisteessä. Näen myös, että energiamittarin tulee jatkossa pystyä tarjoamaan nykyistä joustavammin ja reaaliaikaisia mittaustietoja niin loppuasiakkaan kuin aggregaattorin käyttöön. Energiamittarin tulee olla etäohjelmoitava, jolloin mittausominaisuuksia voidaan parantaa ohjelmallisesti etäyhteyden kautta.

Näkemykseni tulevaisuuden liiketoimintamallista löytyy kappaleesta 3.4.3 keskitie kysyntäjoustopuiston edistämiseen. Tässä kappaleessa pyrin esittämään mallin, jollaisena tulevaisuuden näen. Energiamittari tulee olla etäohjelmoitava ja sieltä saatavat todennetut kuukausilaskutukseen käytettävät mittaustiedot tulevat 1 - 15 minuutin mittausjaksoissa. Energiamittari tarjoaa reaaliaikaisia mittaustietoja langattomasti ennalta määritellyn tiedonsiirtoprotokollan avulla. Ohjaukset toteutetaan energiamittarin kautta kotiautomaatiojärjestelmään, energiamittarilta suoraan ohjattavalle kuormalle tai ulkoisen ohjaus-/mittauslaitteen avulla. Kaikki ohjauksiin ja mittauksiin liittyvät tiedot toteutetaan keskitettyjen control- ja data-hub palveluiden kautta. Aggregaattorit käyvät tiedonvaihtoa loppuasiakkaitten keskitettyjen hub-palveluiden kautta.

- Millaisena nähdään tulevaisuuden kysyntäjoustopuiston liiketoimintamallit; mitkä seikat puoltavat ja mitkä jarruttavat?

Kysyntäjoustopuisto on tulossa ja siihen on Euroopan laajuinen intensiteetti. Euroopan tasolla kysyntäjoustopuistoon liittyy mielenkiintoa ja Euroopan jäsenvaltioiden välillä on nähtävissä kilpajuoksu kysyntäjoustopuiston edistämiseksi. Kansallisella tasolla kysyntäjoustopuistossa on ollut ja tulee olemaan koko ajan enemmän pilottiprojekteja. Elenia ja Fortum ovat kummatkin lähteneet kehittämään kysyntäjoustopuiston käytännöntoteutuksia eri lähtökohdista. Kummatkin toteutukset ovat ulkopuolelta tarkastellessa näyttäneet positiivisesti.

Kysyntäjoustopuisto saadaan jalkautettua loppuasiakkaille siten, että määritellään toisen sukupolven energiamittareiden teknisiin vähimmäisvaatimuksiin ne elementit, jotta kysyntäjoustopuiston hyödyntäminen onnistuu. Tällaisella ratkaisulla eliminoidaan markkinaehtoinen kehitys, mutta saadaan varmasti yhdenmiltainen joustopuistojärjestelmä kansallisesti. Toinen vaihtoehto on tilanne, jossa joustopuistoa aletaan kontrolloida täysin muiden laitteiden avulla. Tekoälyjärjestelmät ovat kevyitä ja niiden hyödyntäminen kysyntäjoustopuistossa näyttää potentiaalisena vaihtoehtona.

Kysyntäjoustopuiston edistämistä edesauttavat seikat:

- Poliittisesti yhteinen tahtotila kysyntäjoustopuiston edistämiseen
- Euroopan Unionin tahtotila kysyntäjoustopuiston edistämiseen
- Loppuasiakkaan pääsy sähköliiketoiminnan keskiöön
- Loppuasiakkaan vihreiden arvojen nousu suurempaan rooliin
- Tulevaisuudessa korostuva taloudellinen hyöty
- Muuttuvan sähköverkkoliiketoiminnan toimintaympäristön

Kysyntäjoustoa jarruttavat seikat:

- Loppuasiakkaan rahallinen hyöty rajallista (sähköhinnasta 1/3 veroja, 1/3 siirtoa ja 1/3 sähköhintaa, josta rahallinen hyöty saadaan)
- Valmiit toimintamallit ja vastuut puuttuvat
- Tekninen hyödynnettävyys rajallista nykyisillä AMR 1.0 energiamittareilla
- Muuttuva toimintaympäristö luo epävarmuuksia

5 Yhteenveto

Työssäni tutkin kysyntäjoustopon mahdollisuuksia energiamittareiden ja muiden tietolähteiden avulla. Käsittelin työssäni perusteellisen kirjallisuuskatsauksen käyden läpi kysyntäjoustopon liittyvää lainsäädäntöä, suosituksia ja asetuksia aina Euroopan Unionin tasolta kansalliseen lainsäädäntöön saakka. Selvitin työni pääperiaatteita, millä tavoin sähköverkkoliiketoiminta Suomessa toimii, ja mitkä ovat sen insentiivit. Kirjallisuuskatsauksessa kävin läpi suppeasti sähkö- ja reservimarkkinoita sekä kysyntäjoustopoa käsitteenä. Tästä työni lähti etenemään kysyntäjoustopon liiketoimintamallien tutkimiseen Suomessa. Työssäni esiteltiin energiamittareiden ominaisuuksia ja mahdollisuuksia. Näiden edellisten pohjalta työni kävi tapaustutkimuksena läpi kaksi pilottiprojektia Suomessa toteutetuista kysyntäjoustopohankkeista, jotka olivat suunnattu loppuasiakkaille. Lopputuloksena yksinkertaistin ja koostin eri liiketoimintavaihtoehtoja kysyntäjoustoposta. Liiketoimintavaihtoehtot oli muodostettu niistä lähtökohdista, johon työni otsikko viittaa. Tarkasteluun otin ne vaihtoehtot, jossa energiamittari tai ulkoinen tietolähde toimivat liiketoimintamallin keskiössä. Näistä liiketoimintavaihtoehtoista ja aiemmin analysoitujen pilottiprojektien pohjalta sain aikaan lopullisen keskitien liiketoimintamallin, johon pyrin ottamaan kaikkien aiemmin käsiteltyjen mallien parhaat puolet. Eri liiketoimintamalleja tutkiessani varsinaista yhtä oikeaa mallia ei löytynyt mutta kompromissimalli osoittautui edukseen. Eri toteutusvaihtoehtoissa on omat puolensa ja tulevaisuuden ennustaminen ei ole eikä tule olemaan jatkossakaan helppoa.

Työni on kokonaisvaltainen ja -kuvaa avaava teos uuden toimintamallin tuomisesta sähköverkkoliiketoimintaan. Aiheen rajaukset olivat tehty hieman löyhästi, siksi tutkimiskohdeiden priorisointi oli tehtävä tiukasti. Opin opinnäytetyöni aikana uusia trendejä sähköverkkoliiketoiminnan alalta. Opin paljon uusia sähköliiketoimintaan vaikuttavia elementtejä. Valvontamallin tuoma momentti uuden toimintatavan kehittämiseen ja alan vuorovaikutukset eri osapuolten välillä olivat asioita, joista opin paljon uutta. Käytettävää materiaalia tutkimuksessa oli todella suuri määrä ja luotettavien lähteiden löytäminen tuotti työssäni ehkä eniten päänvaivaa. Eri järjestöt ja instanssit ajavat luonnollisesti omia etujaan ja näiden värittämät dokumentit tekivät aineistosta ajoittain haasteellisia tulkita. Itse insinööritoimintaprosessi avasi itselläni laajempaa kokonaiskuvaa sähköverkkoliiketoiminnasta ja mitkä asiat ovat sidoksissa mihinkin. Opinnoista itsessään sain uusia mietteitä tulevaisuuden kehityksen suuntauksista. Opintojeni kurssit, jotka liittyivät sähköverkkoliiketoimintaan tai vastaavaan oman alan osaamiseen ei tuoneet juurikaan lisätietoa.

Toisaalta taas kurssit, jotka käsittelivät uusia trendejä ja mielenkiintoisia kokonaisuuksia kuten IOT, strategia- ja esimiestyö olivat erittäin tervetulleita.

Älyverkkotyöryhmän toimintaa seuranneena ja paremman kokonaiskuvan saaneena tiedän ja tajuan nyt paremmin, miten vaikeaa on lähteä muuttamaan näin vakiintunutta liiketoimintapelikenttää. Työssäni pohdin lähinnä energiamittareiden vaikutusta muuttuvaan toimintaympäristöön ja kysyntäjousto. Tämä on vain jäävuoren huippu niistä asioista, joita sähköverkkoliiketoiminnan pelikentällä tulee muuttaa lähivuosina. Hajautetut resurssit, aggegointi, muuttuva mittausjakso, energiayhteisöt, hiilineutraalit sähköntuotantomuodot, sähköistytvä liikenne, pientuotannon yleistyminen ja sähkövarastot ja etenkin kysyntäjousto ovat vain muutamia käsitteitä, jotka ovat tulossa lähivuosina älykkäiden sähköverkkojen avuksi. Näillä kaikille käsitteillä pyritään optimoimaan sähkönkäyttöä, mikä tarkoittaa tehokkaampaa tehotasapainon hallintaa.

Opinnäytetyössäni kävin liiketoimintamallien vaihtoehtoja läpi ja tulin samoihin tuloksiin joka kerta. Keskitetyt tiedonvaihtoratkaisut ovat tärkeä osa muuttuvaa toimintaympäristöä. Tekeillä oleva Datahub-projekti tulee harmonisoimaan mittautietoja ja käyttöpis- teitä. Vastaava keskitetty ratkaisu tulee tulevaisuudessa tarpeeseen, kun kysyntäjou- ston vastuut, roolit ja ohjauskäytännöt lyödään lukkoon (Control-hub). Keskittämistä ja tehos- tamista tapahtuu nykyään paljon ja pohdittavaksi jää onko nykyinen energiamittareiden hallinnointi käytäntö kansallisesti tehokas. Kaikki verkkoyhtiöt tekevät omat erilliset han- kinnat energiamittareista, asennuksista ja etäluennasta. Voisiko näitä hankintoja lähteä yhdistämään isommiksi kokonaisuuksiksi, jolloin hankintavolyymit painaisivat hintoja alaspäin, joka taas on kansantaloudellisesti pelkkää voittoa.

Työssäni ilmeni mielenkiintoisia asioita, joita voidaan tutkia jatkossa. Näitä olivat sähköi- sen liikenteen latausratkaisut kysyntäjoustopuolella, käsitteiden "reaaliaikainen" ja "lähes reaaliaikainen" tutkiminen kysyntäjoustopuolella ja langattomien kotiverkkojen tiedonsiirto ja tietoturva kysyntäjoustopuolella.

Lähteet

- 1 Kysyntäjousto. Verkkodokumentti. <<http://www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/Kysyntajousto/Sivut/default.aspx>> Luettu 18.8.2017.
- 2 Sähkömarkkinalaki. 2013. Verkkodokumentti. <<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588>> Luettu 18.8.2017.
- 3 Hallituksen esitys Eduskunnalle laiksi Imatran Voima -konsernille kantaverkko-omaisuuden myynnistä myönnettävistä veronhuojennuksista. 1996. Verkkodokumentti. <<http://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/1996/19960237>> Luettu 18.8.2017.
- 4 Vuosikertomus 2016 - Strategia. 2016. Verkkodokumentti. <<http://annualreport.fingrid.fi/strategia-ja-johtamisjarjestelma/strategia.html>> Luettu 18.8.2017.
- 5 Ylemmän AMK- tutkinnon metodifoorumi - Case-tutkimus. Verkkodokumentti. <<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojak-sot/0709019/1193463890749/1193464144782/1194348546586/1194356433452.html>> Luettu 18.8.2017.
- 6 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/72/EY. 2009. Verkkodokumentti. <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CE-LEX:32009L0072&from=en>> Luettu 18.8.2017.
- 7 Euroopan komissio. Puhdasta energiaa kaikille eurooppalaisille. 2016. Verkkodokumentti. <http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d2648a37-c626-11e6-a6db-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_1&format=PDF> Luettu 18.8.2017.
- 8 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/27/EU. 2012. Verkkodokumentti. <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:FI:PDF>> Luettu 18.8.2017.
- 9 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2004/22/EY. 2004. Verkkodokumentti. <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CE-LEX:32004L0022&from=en>> Luettu 18.8.2017.
- 10 Tukes - Mittauslaitedirektiivi (MID) 2014/32/EU. 2017. Verkkodokumentti. <<http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Mittauslaitteet/Muutokset-ja-kaytosta-poisto/Mittauslaitedirektiivi-MID/>> Luettu 18.8.2017.
- 11 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/32/EU. 2014. Verkkodokumentti. <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CE-LEX:32014L0032&from=FI>> Luettu 18.8.2017.
- 12 Valtioneuvoston asetus mittauslaitteiden olennaisista vaatimuksista, vaatimustenmukaisuuden osoittamisesta ja teknisistä erityisvaatimuksista. 2016. Verkkodokumentti. <<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2016/20161432>> Luettu 18.8.2017.
- 13 Laki sähkö- ja maakaasumarkkinoiden valvonnasta. 2013. Verkkodokumentti. <<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130590>> Luettu 18.8.2017.

- 14 Johtokatu - tiekartta vihreään sähköjärjestelmään. 2017. Verkkodokumentti. <<http://www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/markkinaliitteet/Kehityshankkeet/FINGRID-Tiekartta-vihreaan-sahkojarjestelmaan-2017-WEB.pdf>> Luettu 18.8.2017.
- 15 Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta. 2009. Verkkodokumentti. <<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090066>> Luettu 18.8.2017.
- 16 Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta. 2016. Verkkodokumentti. <<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20160217?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=217%2F2016>> Luettu 18.8.2017.
- 17 Suomen standardisoimisliito SFS RY. Sähköenergian mittaus. Osa 1: Lainsäädäntö, standardisointi ja perusstandardit. 2009.
- 18 SK 13 Sähköenergian mittaus. Verkkodokumentti. <http://www.sesko.fi/osallistuminen/komiteaesittelyt/sk_13_sahkoenergian_mittaus> Luettu 18.8.2017.
- 19 Kysynnän jousto - Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkko-yhtiöille (DR pooli). 2015. Verkkodokumentti. <https://tutcris.tut.fi/portal/files/4776899/kysynnan_jousto_loppuraportti.pdf> Luettu 18.8.2017.
- 20 Voimajärjestelmän hallinta. Verkkodokumentti. <<http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimajarjestelmanhallinta/Sivut/default.aspx>> Luettu 18.8.2017.
- 21 Käyttövarmuuden ylläpito. Verkkodokumentti. <<http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimaj%c3%a4rjestelm%c3%a4nhallinta/k%c3%a4ytt%c3%b6varmuuden%20yll%c3%a4pito/Sivut/default.aspx>> Luettu 18.8.2017.
- 22 Taajuuden ylläpito sähköjärjestelmässä. Verkkodokumentti. <http://www.fingrid.fi/fi/verkkohankkeet/kantaverkonABC/Sivut/ABCtaajuuden_yllapito.aspx> Luettu 18.8.2017.
- 23 Energiavirasto. Valvontamenetelmät neljännessä 1.1.2016 – 31.12.2019 ja viidennessä 1.1.2020 – 31.12.2023 valvontajaksolla - Liite 2. 2015. Verkkodokumentti. <http://www.energiavirasto.fi/documents/10191/0/Liite_2_Valvontamenetelm%C3%A4t_S%C3%A4hk%C3%B6jakelu.pdf/c48d64d7-4364-4aa1-a91b-9e1cf1167936> Luettu 18.8.2017.
- 24 European Commission. Commission staff working document. 2014. Verkkodokumentti. <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014SC0188&from=EN>> Luettu 18.8.2017.
- 25 European Commission. Commission staff working document. 2016. Verkkodokumentti. <<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2016/20161432>> Luettu 18.8.2017.
- 26 Sähkömarkkinat. Verkkodokumentti. <<http://www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/Sivut/default.aspx>> Luettu 18.8.2017.
- 27 Reservituotteet ja reservien markkinapaikat. Verkkodokumentti. <<http://www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/markkinaliitteet/Reservit/Reservituotteet.pdf>> Luettu 18.8.2017.

- 28 SEDC. Explicit Demand Response in Europe - Mapping the Markets 2017. 2017. Verkkodokumentti. <<http://www.smartenergydemand.eu/wp-content/uploads/2017/04/SEDC-Explicit-Demand-Response-in-Europe-Mapping-the-Markets-2017.pdf>> Luettu 18.8.2017.
- 29 Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle, alueiden komitealle ja Euroopan investointipankille. 2016. Verkkodokumentti. <http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d2648a37-c626-11e6-a6db-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_1&format=PDF> Luettu 18.8.2017.
- 30 Enernoc. Make Demand Response Work for You. Verkkodokumentti. <<https://www.enernoc.com/products/businesses/capabilities/demand-response>> Luettu 18.8.2017.
- 31 Koistinen, Antti. Yle. Fingrid ehdottaa luopumista yösähköhjauksesta – voi vaikuttaa satojentuhansien ihmisten sähkölaskuun. 2017. Verkkodokumentti. <<https://yle.fi/uutiset/3-9510982>> Luettu 18.8.2017.
- 32 Työ- ja elinkeinoministeriö. Työryhmä selvittää älyverkkojen mahdollisuudet sähkömarkkinoilla. Verkkodokumentti. <<http://tem.fi/alyverkot>> Luettu 18.8.2017.
- 33 Rautiainen, Miina. Tivi. Sähkömittari tuli kännykkään. 2017. Verkkodokumentti. <http://www.tivi.fi/Kaikki_uutiset/sahkomittari-tuli-kannykkaan-6632085> Luettu 18.8.2017.
- 34 Energiaopas. Elenia rakentaa ratkaisua sähkömarkkinoiden kysyntäjouaston edistämiseksi. 2017. Verkkodokumentti. <<http://www.energiaopas.net/vihrea-teknologia/elenia-rakentaa-ratkaisua-sahkomarkkinoiden-kysyntajouaston-edistamiseksi>> Luettu 18.8.2017.
- 35 Rautiainen, Miina. Talouselämä. Älypuhelimella voi pian seurata sähkönkulutusta - "Näkee lähes reaaliaikaisesti kun sauna on napsautettu lämpiämään". 2017. Verkkodokumentti. <<http://www.talouselama.fi/uutiset/alypuhelimella-voi-pian-seurata-sahkonkulutusta-nakee-lahes-reaaliaikaisesti-kun-sauna-on-napsautettu-lampiaamaan-6631663>> Luettu 18.8.2017.
- 36 Rautiainen Miina. Tekniikka&talous. Sähkönkulutusta voi pian seurata älypuhelimesta – Tänä vuonna asennetaan 30 000 älykästä sähkömittaria. 2017. Verkkodokumentti. <<http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energia/sahkonkulutusta-voi-pian-seurata-alypuhelimesta-tana-vuonna-asennetaan-30-000-alykasta-sahkomittaria-6631496>> Luettu 18.8.2017.
- 37 Koistinen, Antti. Yle. Uudet älymittarit muuttavat kodin arkea – Sähkönkulutuksesta saa pian reaaliaikaista tietoa kännykällä. 2017. Verkkodokumentti. <<https://yle.fi/uutiset/3-9577330>> Luettu 18.8.2017.
- 38 Elenia rakentaa ratkaisua sähkömarkkinoiden kysyntäjouaston edistämiseksi. 2017. Verkkodokumentti. <<http://www.elenia.fi/uutiset/elenia-rakentaa-ratkaisua-s%C3%A4hk%C3%B6markkinoiden-kysynt%C3%A4jouaston-edist%C3%A4miseksi>> Luettu 18.8.2017.

- 39 Juuti, Petteri. Yle. Fortum valjasti eturintamassa 70 kotia sähkönkulutuksen hienosäätöön – maailmalla valtavat markkinat. 2016. Verkkodokumentti. <<https://yle.fi/uutiset/3-8728970>> Luettu 18.8.2017.
- 40 Fortum. Kysyntäjoustossa kotitalouksien energiankulutus joustaa huippukysynnän aikana. 2016. Verkkodokumentti. <<https://www.fortum.com/fi/konserni/tutkimus-ja-kehitys/virtuaalivoimalaitos/sivut/default.aspx>> Luettu 18.8.2017.
- 41 Juuti, Petteri. Yle. Kotisi lämminvesivaraajasta on moneksi – Fortum etsii 1 000 asiakasta virtuaalivoimalaansa. 2016. Verkkodokumentti. <<https://yle.fi/uutiset/3-9250187>> Luettu 18.8.2017.
- 42 Savolainen, Pekka; Koponen, Pekka; Nojonen, Sami; Sarsama, Janne ja Toivonen, Jyri. VTT. AMM Tietoturva. 2013. Verkkodokumentti. <https://energia.fi/files/967/AMM_Tietoturvaselvitys.pdf> Luettu 18.8.2017.
- 43 Energiäteollisuus. Tuntimittauksen periaatteita 2016. 2016. Verkkodokumentti. <http://www.polarmit.fi/assets/site/files/apua_sahkomittauksiin/tuntimittaussuositus_-_paivitetty_20160531.pdf> Luettu 18.8.2017.
- 44 Huq, Zahurul; Islam, Syed. Home Area Network technology assessment for demand response in smart grid environment. 2010. Verkkodokumentti. <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5710729/#full-text-section>> Luettu 18.8.2017.